

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO A TRES TORNILLOS
EXTRUSORES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA SEMILLA DE
AGUACATE TIPO LORENA.**

PRESENTADO POR

DIEGO GERMÁN RUIZ CARREÑO

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ, D.C.
2021**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO A TRES TORNILLOS
EXTRUSORES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA SEMILLA DE
AGUACATE TIPO LORENA.**

PRESENTADO POR

DIEGO GERMÁN RUIZ CARREÑO

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

PhD. WILSON HERNÁNDEZ MUÑOZ

**UNIVERSIDAD ECCI
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C.
2021**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mi tutor el profesor Wilson Hernández Muños docente de la Universidad ECCI, quien me colaboró con su trabajo, conocimiento y tiempo para realizar este trabajo final y así obtener mi grado en ingeniería mecánica.

En segundo lugar agradezco a José Lizcano (Q.E.P.D.) tutor de taller sede P Universidad ECCI, quien con su experiencia y dedicación me ayudó en los talleres de mecánica, y Juan David Turmequé asistente de taller sede P Universidad ECCI, los cuales contribuyeron a la fabricación de los tornillos extrusores necesarios para el desarrollo del proyecto.

Por último doy gracias a familiares y amigos que me apoyaron con el propósito de culminar mi proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
3.1.	JUSTIFICACIÓN.....	4
3.2.	DELIMITACIÓN.....	5
4.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
5.	MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
5.1.	MARCO TEÓRICO.....	8
5.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	14
5.3.	MARCO LEGAL.....	17
6.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
6.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	20
6.2.	FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN.....	21
6.3.	PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE AGUACATE.....	21
6.4.	RECURSOS.....	22
6.5.	CRONOGRAMA.....	24
7.	RESULTADOS.....	25
7.1.	TEÓRICOS.....	25
7.2.	MECANIZADOS.....	29
8.	CONCLUSIONES.....	43
9.	RECOMENDACIONES.....	44
10.	REFERENCIAS.....	45
11.	ANEXOS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes en un tornillo extrusor, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)	10
Figura 2. Tipos de tornillos extrusores, tomado de (Savgorodny, 1973).....	12
Figura 3. Tornillo de paso constante, tomado de (Firdaus, y otros, 2017).....	12
Figura 4. Eje cónico y tornillo de paso constante, tomado de (Firdaus, y otros, 2017).	13
Figura 5. Tornillo de paso variable, tomado de (Firdaus, y otros, 2017).....	13
Figura 6. Eje cónico y tornillo de paso variable, tomado de (Firdaus, y otros, 2017)....	13
Figura 7. Diseño metodológico, realizado por el autor.....	19
Figura 8. Tornillo #1 en 3D, diseñado por el autor	25
Figura 9. Tornillo #2 en 3D, diseñado por el autor	26
Figura 10. Tornillo #3 en 3D, diseñado por el autor	27
Figura 11. Tornillo #4 en 3D, diseñado por el autor	27
Figura 12. Tornillo #5 en 3D, diseñado por el autor	28
Figura 13. Tornillo #6 en 3D, diseñado por el autor	28
Figura 14. Mecanizado de pieza en nylon, en el torno # 1, realizada por el autor	29
Figura 15. Mecanizado de pieza en nylon, en el torno # 2, realizada por el autor	30
Figura 16. Mecanizado de pieza en nylon, en la fresadora, realizada por el autor	30
Figura 17. Prototipo finalizado, realizada por el autor	31
Figura 18. Mecanizado de pieza en acero 12L14, en torno, realizada por el autor	31
Figura 19. Tornillo en acero 12L14, diseño # 4, realizada por el autor	32
Figura 20. Tornillo en acero 12L14, diseño # 5, realizada por el autor	32
Figura 21. Tornillo en acero 12L14, diseño # 6, realizada por el autor	32
Figura 22. Semilla con corteza, realizada por el autor.....	33
Figura 23. Semilla sin corteza, realizada por el autor	34
Figura 24. Semilla trituradas, realizada por el autor	34
Figura 25. Peso de muestras, realizada por el autor	35
Figura 26. Muestras en tolva, realizada por el autor.....	35
Figura 27. Extractora OPM500W en funcionamiento, realizada por el autor	36
Figura 28. Muestras de extracción con el tornillo diseñado # 6, realizada por el autor...	37
Figura 29. Muestra de extracción del tornillo original, realizada por el autor	37
Figura 30. Muestra de extracción del tornillo diseñado # 5, realizada por el autor	38

Figura 31. Datos de zumo extraído, realizada por el autor	39
Figura 32. Centrífuga dinámica, realizada por el autor	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Software, equipo técnico y maquinaria, realizado por el autor	22
Tabla 2.	Otros gastos diversos, realizado por el autor	23
Tabla 3.	Valor total de recursos, realizado por el autor	23
Tabla 4.	Cronograma, realizado por el autor	24
Tabla 5.	Datos de zumo extraído, realizados por el autor	39
Tabla 6.	Resultados de centrifugado, realizado por el autor	40
Tabla 7.	Eficiencias, realizado por el autor	41
Tabla 8.	Características geométricas de los tornillos, realizado por el autor	42

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Ángulo de la hélice, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)	11
Ecuación 2.	Ancho del canal, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)	11
Ecuación 3.	Dirección helicoidal del canal, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)	11
Ecuación 4.	Eficiencia, regla de tres simple directa	41

GLOSARIO

ACEITE: Líquido graso que se obtiene de frutos o semillas, como cacahuetes, algodón, soja, nueces, almendras, linaza, ricino o coco, y de algunos animales, como la ballena, la foca o el bacalao.

ACERO AISI / SAE 12L14: Acero de bajo carbono resulfurado y refosforado con aleación de plomo, de extraordinarias características de maquinabilidad y terminación superficial. Apto para realizar recubrimientos electrolíticos tales como zincado, cromado y niquelado.

AGUACATE: Árbol de América, de la familia de las lauráceas, de ocho a diez metros de altura, con hojas alternas, coriáceas, siempre verdes, flores dioicas y fruto comestible.

EXTRACTORA: Aparato o pieza de un mecanismo que sirve para extraer.

MÁQUINA: Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado.

NYLON (NAILON): Poliamida sintética de la que se hacen filamentos elásticos y muy resistentes, empleados en la fabricación de tejidos diversos.

RENDIMIENTO: Proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados.

TORNILLO: Pieza cilíndrica o cónica, por lo general metálica, con resalte en hélice y cabeza apropiada para enroscarla.

TORNO: Máquina simple que consiste en un cilindro dispuesto para girar alrededor de su eje por la acción de palancas, cigüeñas o ruedas, y que ordinariamente actúa sobre la resistencia por medio de una cuerda que se va arrollando al cilindro.

RESUMEN

El proyecto consiste en aumentar el rendimiento o eficiencia de extracción de aceite para las semillas de aguacate tipo Lorena (papelillo) en la máquina extractora OPM500W. Para ello se fabricó un tornillo prototipo con el modelo del diseño #4 en material nailon para entender el mecanizado de los tornillos finales, luego se descartó los tornillos diseño #1, diseño #2 y diseño #3 por imposibilidades en su fabricación y luego fueron aceptados para su mecanizado los tornillos diseño #4, diseño #5 y diseño #6, en el material acero AISI/SAE 12L14, los cuales se mecanizaron en un torno paralelo universal y fresadora de los talleres ubicados en la Universidad ECCI Bogotá D.C.

Se realizaron tres pruebas de 100 gramos para la extracción de aceite por cada tornillo, los tres tornillos diseñados y fabricados además del tornillo original de la máquina OPM500W, después de las extracciones de aceite se centrifugaron las muestras con el propósito de separar el fluido o aceite del desperdicio denominado material particulado, así poder medir el volumen del aceite. Para medir el rendimiento o eficiencia se tomó como base los datos obtenidos de extracción de aceite por el tornillo extrusor original de la máquina, se comparó con los volúmenes de aceite producidos por los tornillos diseñados dando como resultado 0% de eficiencia para el diseño #4, 66,11% en promedio para el diseño #5 y finalmente se obtuvo una eficiencia en promedio de 225,34% para el diseño #6 logrando el máximo rendimiento o eficiencia de la investigación.

1 INTRODUCCIÓN

En la industria alimenticia el aguacate es un fruto apetecido y por ende de consumo masivo, por consecuencia las semillas de éste se desperdician en grandes cantidades ya que no poseen una utilidad de conocimiento popular, en contraposición a esto si existen estudios y campo sobre el aprovechamiento de las semillas de aguacate para la extracción de aceite el cual posee un interés en la industria, siendo uno de ellos la industria de los biocombustibles ya que desarrollan combustibles a partir del aceite de elementos orgánicos, para lo cual se requiere numerosas cantidades de este aceite para cubrir la demanda de combustible mundial. Este trabajo busca que los niveles de extracción de aceite de las máquinas del mercado, siendo en este caso la máquina extractora de aceite OPM500W originaria del país China, incremente su volumen de aceite con nuevos diseños variando las geometrías del tornillo extrusor.

2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad ECCI cuenta con una máquina extractora de aceite de semillas referencia OPM 500w. Esta máquina es de tipo mono husillo, por lo cual solo posee un tornillo extrusor, además es una máquina de trabajo en frío (temperatura ambiente), o con temperatura entre 34°C y superior a 50°C con una potencia entre 500 y 1500 Watts.

Estos tipos de prensa extractora trabajan con un diámetro de grano o semilla máximo de 2.5 cm, la máquina realiza el prensado por movimiento mecánico continuo el cual es ejecutado por un tornillo extrusor.

Por lo general el proceso de extracción de aceite de semillas conlleva distintas variables, como lo son la preparación de las semillas, y demás condiciones que aumenten la cantidad de aceite de las semillas, sin embargo, en esta investigación no se van a tomar en cuenta variables como la cocción de las semillas, humedad de las mismas, etc.

El primer motivo por el cual se decide realizar el estudio de investigación, es llevar a cabo una prueba preliminar, donde se observe el rendimiento de extracción de la máquina anteriormente descrita, recalcando que se va efectuar con el tornillo que trae de fábrica y con semillas de aguacate Lorena o también conocido como papelillo, con lo anterior se quiere saber cuánta cantidad de peso de aceite extrae, con respecto al peso de semilla de aguacate que se le ingresa. Para poder cumplir con los parámetros que trae la máquina es necesario fraccionar la semilla de aguacate en granos pequeños, esto para poder llevar a cabo la operación debido a que la semilla de aguacate tiene un diámetro aproximado de 5 cm.

Además, se propone diseñar las geometrías del tornillo de la máquina extractora de aceite mono husillo adecuadas para las semillas de aguacate. Dentro de las geometrías del tornillo se encuentra el paso, ángulo de filete, ancho de canal y ancho de diente. Buscando elaborar tres tornillos con parámetros diferentes para efectuar ensayos que permitirán aumentar el rendimiento de extracción de aceite de la semilla descrita anteriormente, debido que con el tornillo que viene de fábrica la máquina extractora no se está obteniendo el rendimiento esperado de acuerdo a ensayos preliminares. El material para elaborar los tres tornillos de la máquina extractora de aceite es en acero 12L14, este material es bajo en carbono y permite su fácil mecanizado, (www.dimecol.co, 2020) (la ficha técnica del material se puede observar en ANEXOS de este documento) los tornos pertenecientes a la universidad ECCI, no tienen la capacidad de mecanizar un material de mayor dureza, como por ejemplo un acero inoxidable AISI 304.

Se busca identificar qué parámetros o características del tornillo ayudan a mejorar el rendimiento de extracción de aceite, y se podrán observar al momento de ejecutar ensayos con cada tornillo, midiendo el volumen de aceite.

Con los aspectos anteriormente dichos, se realizara una comparativa de extracción, donde se tendrá en cuenta el rendimiento de extracción de los cuatro tornillos, donde tres van hacer con geometrías propuestas y el cuarto va ser el husillo con el que la máquina extractora viene de fábrica. De este modo, determinar si es posible una configuración que ayude el rendimiento de extracción de la máquina sobre el arreglo que ya trae de producción.

El ministerio de salud de Colombia, establece unas resoluciones en las cuales expresa las limitaciones de las características y propiedades de los aceites vegetales y animales, y sobre los materiales utilizados en la maquinaria que tengan contacto con estos aceites, ya que son para preservar el bienestar y salud del ser humano. Es probable que los aceites obtenidos de las semillas de aguacate, sean empleados para consumo o manipulación del ser humano, pero no está especificado su utilización final, por ende, se establece unas restricciones de seguridad sanitaria tomando en cuenta las resoluciones del ministerio de salud de Colombia, 2154 del 2012 y 683 del 2012.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál sería la configuración geométrica del tornillo que ayude a mejorar el rendimiento de extracción de aceite de la máquina OPM 500w?

3 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 JUSTIFICACIÓN

La extracción de aceites esenciales tiene importancia, debido a diferentes métodos de extracción se puede obtener aceite de residuos orgánicos, principalmente semillas, en algunos casos se utilizan cáscaras. Esto ayuda a disminuir el desperdicio que se produce en industrias alimenticias. Mediante el método de extracción por presión con tornillo extrusor, se logra eficiencias de extracción de 100 %, en donde una parte es extracto de la semilla en forma líquida y el resto es torta o residuo sólido, de este aceite se extrae aceite mediante métodos como el Soxhlet, el cual posee varias finalidades en la industria.

Mediante técnicas de extracción de semillas se ha obtenido extractos para diferentes campos de aplicación, dentro de los cuales están: el alimentario, cosmético, medicinal y biocombustibles. (Chouaibia, Rezig, Hamdi, & Ferrari, 2019) (Pazinato Cuco, y otros, 2019) (Akbari, Hamid Abdurahman, Mohd Yunus, Ruth Alara, & Olusegun Abayomi, 2019) (Ph. Evon, Amalia Kartik, & Rigal, 2013)

Se pretende realizar una comparativa de extracción entre cuatro tornillos de la máquina mono husillo referencia OPM 500w, pertenecientes a la universidad ECCI sede Bogotá. Lo anterior con ánimo de obtener aceite a partir de las semillas de aguacate, para ayudar a mejorar el rendimiento de extracción de la máquina extractora OPM 500W.

Se tiene como hipótesis, según artículos consultados, que para mejorar el rendimiento de extracción en máquinas extractoras necesariamente hay que variar la configuración del tornillo, además, hacer tratamientos especiales a las semillas y en algunos casos elaborar el proceso a determinadas temperaturas, en esta investigación principalmente se hará enfoque en la variación de la geometría del husillo. (Kartika, Pontalier, & Rigal, 2006)

Se busca alcanzar mediante este trabajo de investigación una configuración geométrica de tornillo extrusor, distinta a la que trae la máquina de fábrica, para poder ayudar al rendimiento de extracción de aceite de aguacate Lorena o papelillo, utilizando la máquina extractora OPM 500w, donde se verá la ayuda obtenida con las diferentes configuraciones planteadas de tornillo extrusor.

Lo anterior es importante, debido a que se pretende mejorar el proceso de extracción de la máquina OPM 500w, se procura conseguir un mejor resultado de extracción de aceite de la semilla nombrada anteriormente.

La tesis se desarrolló como trabajo de grado investigación, donde se exploró las alternativas del aprovechamiento de residuos generado por la semilla de aguacate (*Persea americana* Mill Variedad Lorena) y (*Persea americana* variedad Hass). Mediante el método de extracción Soxhlet, se logró dos bioproductos a partir de los residuos generados por la agroindustria del aguacate. Por parte de la variedad Lorena se obtuvo colorante natural y por la variedad Hass se obtuvo aceite con propiedades humectantes para la piel. (RAMOS, 2017)

3.2 DELIMITACIÓN

La delimitación de este proyecto de investigación se especificará en el tiempo, espacio, territorio y recursos necesarios para cumplir los objetivos previstos. En cuestión de tiempo, el proyecto de investigación tendrá una duración mínima de veinticuatro (24) semanas y máximo de treinta y seis (36) semanas, aunque, el cronograma podría modificarse con el transcurso de la investigación. El tiempo sugerido se plantea teniendo en cuenta la duración de las etapas de investigación, recolección de información, diseño de tornillos de la máquina extractora, fabricación de tornillos, ensayos de laboratorio, recolección y análisis de resultados.

El espacio y territorio donde se desarrollará el proyecto de investigación son principalmente los laboratorios de química y los talleres de mecanizado de la Universidad ECCI de la sede Bogotá, localidad Teusaquillo, barrio Chapinero. En los laboratorios de química donde se ubica la máquina extractora, se desarrollarán los ensayos de extracción de aceite de la semilla de aguacate, con el tornillo original de la extractora y con los tornillos diseñados y fabricados para el proyecto de investigación. Secundariamente los espacios utilizados serán las salas de cómputo de la misma universidad.

Las variables a tener en cuenta para diseñar los tornillos son la profundidad del filete, ángulo del filete, paso, ancho de filete, y las variables fijas son la longitud del tornillo, el diámetro exterior, la velocidad angular y la potencia. Las dimensiones del espigo (donde se sujeta el tornillo a la máquina extractora), son predeterminadas por la máquina extractora, para que garantice su correcta sujeción por ende son medidas constantes y no se variarán sus valores.

En la fabricación de los tornillos extrusores se tiene como limitante el material en el cual se van a efectuar, para dicho propósito se tiene acero 12L14, dicho metal ya fue adquirido por los investigadores y por ende no se puede cambiar el material. En primera instancia se tenía pensado utilizar como material del tornillo extrusor un acero inoxidable semejante al material del tornillo original de la máquina extractora de aceite, pero la final se descartó la idea ya que este material no es posible su mecanizado en los talleres de la universidad

ECCL. Este metal fue adquirido porque al ser un metal de bajo contenido de carbono se hace posible su mecanizado dentro de los talleres que ofrece la universidad ECCL.

El diseño de los tornillos se llevará a cabo con base a los tornillos helicoidales de las máquinas extrusoras de polímeros, dentro de las teorías base para el diseño de los tornillos se tomarán de los libros de "Transformación de plásticos" de V.S. Savgorodny y "Principles of polymer processing" de Zevhev Tadmor y Costas G. Gogos, con los textos mencionados anteriormente se tendrán argumentos válidos para diseñar los tornillos helicoidales de la máquina extrusora. Al momento de construir los tornillos helicoidales, se realizará un modelado en el software Solidworks, posteriormente remitir los planos a un técnico en torno para su fabricación.

Otras delimitaciones con respecto a los ensayos de extracción de aceite, será la carencia de aumentar la temperatura exacta de la extractora, y también, la falta de tratamientos de las semillas previos a su extracción de aceite, como por lo general son la cocción y el control de la humedad. Las características anteriores son de gran relevancia al momento de aumentar el rendimiento de extracción de aceite de semillas, pero en este proyecto de investigación no se podrán tener en cuenta, ya que con la máquina extractora que se encuentra en la Universidad ECCL no posee la característica de variar la propiedad de temperatura a gusto, por lo tanto, la temperatura de trabajo de la máquina extractora será entre 34°C y más de 50°C.

4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar diferentes geometrías de un tornillo extrusor de la máquina OPM500W para la mejora del rendimiento de extracción de aceite.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros que intervienen en el diseño de un tornillo extrusor, basándose en las geometrías variables del tornillo, que va a ser instalado en la máquina extractora de aceite OPM 500w.
- Diseñar configuraciones geométricas de tornillos extrusores (paso y diámetros), para ayudar al rendimiento de extracción de la máquina OPM 500w, para las semillas de aguacate.
- Realizar prototipo en material Nylon para determinar qué mecanizado es conveniente para los diseños propuestos.
- Fabricar tres (3) tornillos helicoidales en acero 12L14 para la máquina extrusora OPM 500w.
- Medir y comparar el rendimiento de obtención del extracto de la semilla de aguacate, para los cuatro tornillos con las configuraciones planteadas de la máquina extrusora OPM 500w.

5 MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 MARCO TEÓRICO

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO: La semilla entra en primer lugar por la tolva de alimentación, avanza por los espirales helicoidales del tornillo, a medida que la semilla avanza encuentra un espacio, entre el sin fin y la camisa, cada vez más reducido, lo que hace aumentar la presión de la masa. La camisa posee unos orificios convenientemente ubicados para permitir la salida del aceite, la masa de la semilla continúa su recorrido hasta el final del tornillo sin fin por donde ha de salir por un agujero en forma de torta. (El pequeño agroindustrial., 2014)

PRENSADO EN FRÍO: El prensado es la separación de líquido de un sistema de dos fases (sólido – líquido) que no se puede bombear con facilidad, mediante la compresión en condiciones que permiten que el líquido escape al mismo tiempo que retiene el sólido entre las superficies de compresión, la máxima temperatura de “prensado en frío” es de 300 K (27 °C). (GALARRAGA RIVERA, 2015)

ACEITE: La palabra aceite (del árabe az-zait, el jugo de la oliva, y éste del arameo zayta) es un término genérico para designar diferentes líquidos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menos densidad que ésta. (GALARRAGA RIVERA, 2015)

EXTRACCIÓN DE ACEITES: Los aceites vegetales es posible extraerlos por el método de prensado mecánico (prensa hidráulica y expeller), por el método químico utilizando solventes y por arrastre de vapor para aceites esenciales. Para la extracción de aceites vegetales, Cuando se lleva a cabo usando una prensa de tornillo o expeller, para este caso, el aceite se extrae mediante la aplicación de presión a las semillas de material por medio de un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, este tornillo se encuentra dentro de un barril de drenaje. El barril de drenaje, conocido como la “jaula” consiste de una serie de anillos unidos entre sí por nervios longitudinales, barras paralelas establecidas en la caja, separadas por cuñas o espaciadores. Esto tiene el efecto de producir una serie de ranuras paralelas a lo largo del cañón, a través del cual el aceite puede fluir al tiempo que conserva el material sólido dentro de ella. Los elementos del tornillo se conocen colectivamente como “ensamble de gusano”. El material sólido que queda dentro de la prensa es finalmente descargado por un orificio llamado el dado. La gran ventaja de este método es que, en un proceso exclusivamente mecánico, sin la adición de aditivos químicos lo que garantiza un aceite más sano y que conserva todas sus propiedades organolépticas (sabor, color, textura). (GALARRAGA RIVERA, 2015)

PRENSA TIPO EXPELLER: La extracción de aceite en una prensa de tipo expeller ocurre de manera continua, es decir, la obtención del aceite ocurre en un solo paso y se realiza por medio de un husillo que gira dentro de un barril o camisa; este husillo o tornillo sin fin se encarga de transportar el material desde la sección de alimentación en donde entra el material por medio de una tolva, hasta una sección dosificadora o de salida por la cual el material que sobra de la extracción es expulsado por un orificio llamado dado.

Entre estas dos secciones de alimentación y dosificación, se encuentra la zona de compresión, debido a la forma del tornillo, se presenta la presión más elevada y por la cual el aceite es liberado por unos orificios o ranuras presentes en el barril de drenaje.

La prensa es accionada por un motor eléctrico provisto de un reductor de velocidad que transmite movimiento hacia el husillo y hacia el tornillo de alimentación, dispuesto en la tolva. La potencia requerida depende de las características de la semilla y de las dimensiones del conjunto en general. (GALARRAGA RIVERA, 2015)

HUSILLO: La configuración de un solo tornillo ha mantenido su terreno durante más de 125 años como él y la configuración geométrica más útil para el procesamiento de plásticos. De hecho, la mayor parte de los plásticos se procesan utilizando una extrusora de un solo tornillo, al menos una vez en su viaje de la materia prima al producto terminado. Un tratamiento detallado de un solo tornillo la extrusión es dada por Tadmor y Klein.

El tornillo simple no solo es una bomba muy eficiente, sino que, también transporta bien partículas sólidas y, en virtud de su geometría, dispara y mantiene el elegante mecanismo de fusión por arrastre y eliminación. Funciona sin problemas y convenientemente con tornillos parcialmente llenos para ventilar y tener una distribución estrecha del tiempo de residencia, permite el procesamiento de la temperatura sensible materiales Es un buen mezclador distributivo extenso, aunque por supuesto está cerca del enchufe flujo, carece de mezcla, y contrario a la sabiduría común, también se puede diseñar para mezcla dispersiva.

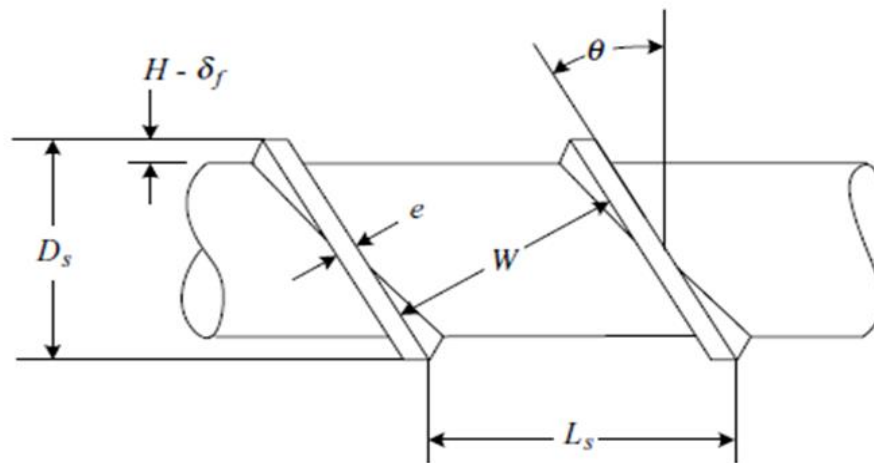
El tornillo único es una geometría relativamente simple configuración que es fácil de fabricar y, por lo tanto, relativamente económica. Así se pueden retener múltiples tornillos con una sola máquina para diferentes aplicaciones. (Tadmor & Gogos, 2006)

AGUACATE: El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo. Existe evidencia directa de la domesticación en el período Clásico Maya del maíz, calabaza, yuca, algodón, aguacate, camote, y el agave, lo cual está sustentado por restos de planta en el contexto arqueológico y lingüístico que le dan validez a esta lista de cultivos.

El aguacate era bien conocido por el hombre desde tiempo atrás, ya que las evidencias más antiguas del consumo de aguacate fueron encontradas en una cueva en Coxcatlán, región de Tehuacán, Puebla, México, datados entre los años 8.000-7.000 B.C.

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae y en la actualidad el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies, y la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*). Solo son las excepciones *Persea indica* que se encuentra en las Islas Canarias (España) y probablemente otras del sur de Asia que se piensa pertenecen a *Persea*. (Barrientos & López, 2014)

GEOMETRÍA: En la figura 1 se exhiben las partes que disponen los tornillos extrusores que pueden variar el valor dependiendo de su finalidad.



1. Partes en un tornillo extrusor, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)

Las extrusoras de tornillo simple varían en tamaño desde tan solo 2 cm hasta 75 cm de diámetro, con longitudes axiales L a diámetro D (tomadas en la punta de vuelo) relaciones de 24 a 26, aunque ocasionalmente encontramos extrusoras con relaciones L / D tan altas como 40 o tan bajas como 8. Estas últimas son generalmente extrusoras de caucho o extrusoras termoplásticas tempranas. Entre la punta del vuelo del tornillo y la superficie interna del barril D_b , hay una pequeña holgura radial δ_f del orden de 0,1 a 0,3% de D_b . La fusión de polímeros llena este vacío y actúa como lubricante, prevención del contacto metal con metal. El diámetro del tornillo en la punta de los vuelos es $D_s = D_b - 2\delta_f$. La distancia axial de una vuelta completa del vuelo se llama L_s de avance.

La mayoría de los tornillos de un solo husillo son de un solo vuelo, con $L_s = D_s$, denominados de tono cuadrado empulgueras. La distancia radial entre la raíz del tornillo y la superficie del cilindro es la profundidad del canal, H . La principal variable de diseño de los tornillos es el perfil de profundidad del canal que es $H(z)$, donde z es la dirección helicoidal del canal descendente, es decir, la dirección del flujo neto del material. El ángulo formado entre el vuelo y el plano normal al eje se llama el ángulo de la hélice, θ , está relacionado con el plomo y el diámetro.

$$\tan \theta = \frac{L_s}{\pi D}$$

Ecuación 1. *Ángulo de la hélice, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)*

El valor del ángulo de hélice es, por lo tanto, una función del diámetro. En la punta del vuelo es más pequeño que en la raíz del tornillo. Un tornillo cuadrado, descuidando el vuelo de despeje, tiene un ángulo de hélice de 17,65° ($\tan \theta = 1/\pi$) en la punta de vuelo. El ancho del canal W es la distancia perpendicular entre los vuelos.

$$W = L_s \cos \theta - e$$

Ecuación 2. *Ancho del canal, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)*

Donde e es el ancho de vuelo. Claramente, dado que θ es una función de la distancia radial, también lo es W. Finalmente, la distancia helicoidal a lo largo del canal z está relacionada con la distancia axial l. (Tadmor & Gogos, 2006)

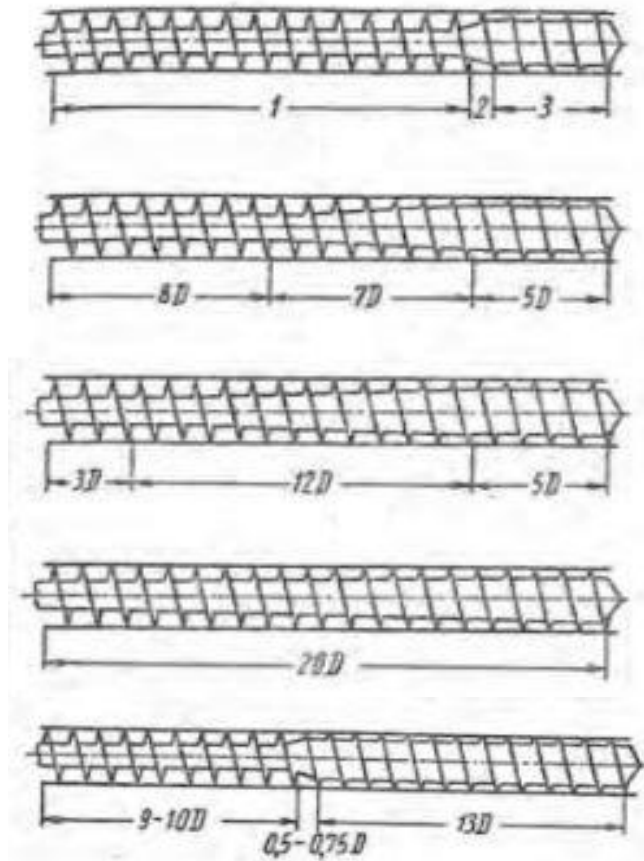
$$z = \frac{l}{\sin \theta}$$

Ecuación 3. *Dirección helicoidal del canal, tomado de (Tadmor & Gogos, 2006)*

Otra consideración al diseñar un tornillo extrusor, son las longitudes de las zonas de alimentación, compresión y extrusión.

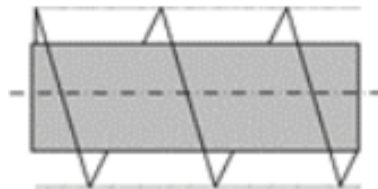
El primer husillo de arriba hacia abajo de la figura 2 se puede apreciar tres zonas: alimentación 1 de longitud 15D y profundidad de canal constante, composición corta 2 de longitud $(0,5/1)D$ y profundidad del canal variable y zona de extrusión dosificadora 3 de longitud $(4/5)D$ y profundidad del canal constante; este husillo se emplea principalmente para la transformación de poliamidas. En el segundo husillo se muestra un husillo universal de tres zonas exactamente diferentes, cuyas longitudes corresponden a: alimentación 8D, compresión 7D y extrusión 5D. El tercer husillo cuya medida de alimentación corta es de 3D, compresión larga 12D y extrusión normal de 5D, adecuada para la transformación de poliolefinas. El cuarto husillo se emplea para transformar cloruro de polivinilo no plastificado se suelen emplear husillos de 20D de longitud con una sola zona de compresión paulatina, al comienzo de la cual se efectúa la alimentación y al final la extrusión del material plastificado homogéneo, la ausencia de cambios bruscos entre las zonas permite eliminar la destrucción térmica del material. Por último el quinto husillo se usa para la transformación de polietileno con una zona de alimentación igual a $(9/10)D$, de compresión corta igual a $(0,5/0,75)D$ y zona de extrusión de 13D de longitud que garantiza la buena homogeneización del material. (Savgorodny, 1973)

Los cálculos se realizan en relación longitud (L) y diámetro (D).

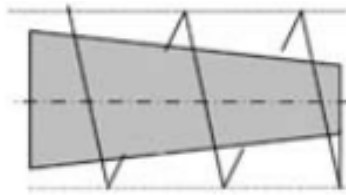


2. Tipos de tornillos extrusores, tomado de (Savgorodny, 1973)

En una investigación realizada por estudiantes de la universidad Tun Hussein Onn Malaysia, de la facultad de ingeniería mecánica y de manufactura, realizaron un trabajo donde buscan mejorar el plan de mantenimiento, donde buscan reducir el costo de manutención y aumentar la vida útil de una máquina extractora de aceite de palma, lo anterior analizando diferentes diseños de tornillos extrusores. (Firdaus, y otros, 2017)

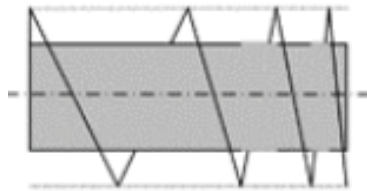


3. Tornillo de paso constante, tomado de (Firdaus, y otros, 2017)



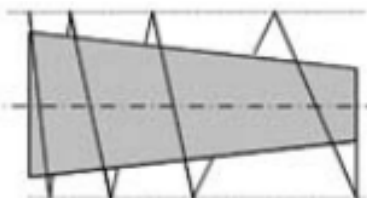
4. Eje cónico y tornillo de paso constante, tomado de (Firdaus, y otros, 2017)

En la figura 4 la tasa de aumento de presión en la prensa de tornillo cónico es más alta que el eje de tornillo recto tipo. Este tipo de tornillo cónico requiere una máquina CNC. (Firdaus, y otros, 2017)



5. Tornillo de paso variable, tomado de (Firdaus, y otros, 2017)

En el tornillo de la figura 5 de rosca inusual de tornillo requiere una máquina herramienta CNC de 5 ejes, es útil para aumentar la capacidad total del núcleo. Similar al sistema de eje cónico, en este tipo de sistema de eje de tornillo, el volumen se reduce en una cantidad en cada vuelta. La principal diferencia entre ellos es la tasa de aumento de presión a través de cada hilo. En tornillo cónico, la presión aumenta linealmente a través del eje de la prensa de tornillo, mientras que, en el tornillo con distancia de paso variable, la presión es constante a través de cada hilo y aumenta en las transiciones. (Firdaus, y otros, 2017)



6. Eje cónico y tornillo de paso variable, tomado de (Firdaus, y otros, 2017)

La tasa de aumento de presión en el tornillo de la figura 6, es más alta en comparación con los otros tipos de tornillos. La misma presión se puede determinar en un menor tiempo porque la presión alcanza su valor máximo en menos revoluciones en comparación con tornillos del mismo tamaño. (Firdaus, y otros, 2017)

5.2 MARCO CONCEPTUAL

Un grupo de investigadores extrajo aceite de semilla de pimiento rojo por varios métodos de extracción, ya que este es rico en ácidos grasos insaturados y tocoferol. A su vez el aceite es interesante para aplicaciones específicas en varios segmentos de la industria no alimentaria. Las técnicas de extracción que se utilizaron fueron: Extracción por prensado en frío, extracción Soxhlet, supercrítico de CO₂ de extracción y extracción asistida por microondas (MAE). Los resultados obtenidos mostraron que la composición química del aceite va a variar según su método de extracción. Realizando el análisis se encontró que el aceite de semilla posee fuertes actividades antioxidantes, lo cual es de gran interés para la industria cosmética y medicinal. (Chouaibia, Rezig, Hamdi, & Ferrari, 2019)

Se investigó la extracción de aceite de un lecho estructurado compuesto de semillas de calabaza y cáscara. Usando propano comprimido como disolvente. La extracción se realizó con un aparato experimental compuesto por un cilindro de gas, dos baños termodinámicos, una bomba tipo jeringa y un recipiente extractor. La mayor actividad antioxidante se encontró en el extracto con mayor contenido de β -caoteno. Además, el mayor punto de eficiencia ocurre a una temperatura de 333 °K y una presión de 6 MPa. Donde el producto final tiene potencial para los beneficios de la salud humana. (Pazinato Cuco, y otros, 2019)

Científicos extrajeron aceite mediante el método de soxhlet, de semilla de fenogreco con n-hexano lo anterior como disolvente de extracción. El aceite extraído se caracterizó mediante el análisis GC-MS y FTIR. El aceite obtenido mostró una fuerte actividad antioxidante de eliminación de radicales. Siendo rico en omega-6, el cual es eficaz en la prevención de enfermedades coronarias del corazón, cáncer, la inflamación, el asma, el trastorno sexual y las infecciones urinarias. (Akbari, Hamid Abdurahman, Mohd Yunus, Ruth Alara, & Olusegun Abayomi, 2019)

Estudiantes de China realizaron una investigación para aumentar la utilización de semillas de cereza, se utilizó extracción enzimática acuosa asistida por microondas por ultrasonidos (UMAAEE), para extraer aceite de semilla de cereza. El aceite obtenido muestra composiciones de ácidos grasos. Además, el método UMAAEE no involucra solventes orgánicos, este método es eficiente y amigable con el medio ambiente. (Hu, y otros, 2019)

Una investigación realizada por estudiantes de Brasil y Paraguay se extrajo aceite de la semilla cannabis sativa, ya que esta posee un alto contenido ácidos grasos poliinsaturados y antioxidantes como los tocoferoles y carotenos, los cuales son de un alto valor nutricional. El aceite se extrajo utilizando dióxido de carbono de alta pureza y n-propano. El aparato experimental, posee un sistema de presurización de fluidos con una bomba tipo jeringa (Isco, modelo 260D), la despresurización se realiza mediante una

válvula micrométrica. El aceite obtenido con n-propano mostró un alto contenido de antioxidantes. El n-propano presenta mayores ventajas respecto al CO₂, en la extracción del aceite. (Ribeiro Grijó, Karen Piva, Vieitez Osorio, & Cardozo-Filho, 2019)

Investigaciones de estudiantes de Túnez y Francia, donde se realizó la extracción de aceite de frutas de cilantro, utilizando una máquina extrusora de doble tornillo, teniendo en cuenta que los productos obtenidos son de importancia en la industria de alimentos. Además, se hizo un estudio de configuración de tornillo, con el cual se busca garantizar un flujo eficiente. La extracción de aceite de las frutas de cilantro se extrajo con una extrusora de doble tornillo, el mejor rendimiento de extracción de aceite se obtuvo en condiciones 50 rpm y 2,27 Kg/h. Se obtuvo aceite rico en ácido petroselinico y posee un amplio espectro de aplicaciones en la industria, gracias a sus altas cantidades de isómero de ácido oleico. (Sriti, y otros, 2012)

Investigadores de Francia e Indonesia evaluaron la viabilidad que tiene el método de extracción por prensado mecánico para extraer aceite de semillas de jatropha. Los experimentos se realizaron mediante una extrusora de doble tornillo de rotación conjunta. El rendimiento de la extracción de aceite depende de las condiciones de operación de la extrusora, la temperatura de prensado y la velocidad de rotación del tornillo, en general lo que más afectó la eficiencia de extracción fue la configuración del tornillo o perfil. El mayor rendimiento de aceite del 71% se obtuvo en condiciones de operación de 153 rpm y 80 °C (5.16 Kg/h), arrojando aceite de buena calidad para la producción de biodiesel a un costo moderado. (Ph. Evon, Amalia Kartik, & Rigal, 2013)

Científicos de Indonesia y Francia, tuvieron como objetivo investigar cuál configuración de tornillo permite la extracción de aceite de semillas de girasol. Los experimentos se llevaron a cabo con una extrusora de doble tornillo co-giratoria. Donde analizaron cinco perfiles de tornillo para definir cuál generaba el mejor rendimiento de extracción. Dando como resultado de extracción de aceite del 85% se obtuvo en condiciones de funcionamiento de 120 °C a 75 rpm y 19 Kg/h. (Amalia Kartika, P.Y. Pontalier, & Rigal, 2006)

Estudiantes de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador evidenciaron la extracción de aceite de la semilla Sacha Inchi, por medio de una extrusora de tornillo. La finalidad de la investigación fue diseñar el tornillo de la extrusora obteniendo el nivel más alto rendimiento posible de aceite extraído, además de poder utilizar los residuos de las semillas de Sacha Inchi llamada torta como complemento alimenticio de seres humanos y de mascotas. Al realizar las pruebas se mostró la mejor eficiencia en las pruebas a una velocidad de 80 rpm, con respecto a la eficiencia realizada a una velocidad de 20 rpm. En lo cual se demostró la efectividad a la hora de extraer aceite y torta de la máquina extrusora con el tornillo a la velocidad de 80 rpm. La investigación también arrojó la importancia de aumentar la temperatura para disminuir la viscosidad del aceite para aumentar los niveles de aceite y así facilitar su extracción. Además, en las pruebas se demostró que al aumentar la temperatura aumentan los niveles de aceite y disminuyen

los niveles de torta (residuos de la semilla), aumentando la productividad de aceite. (Gutiérrez Suquillo, Saá Arévalo¹, & Vinuesa Lozada, 2017)

Estudiantes alemanes en su artículo de investigación, su objetivo fue diseñar la geometría de tornillos helicoidales, con el fin de mejorar sus propiedades de trabajo, en condiciones de alta dureza y aumentar su rendimiento. Los resultados obtenidos dan información de la importancia de la geometría del tornillo para acabados posteriores a los mecanizados, además de diseñar los tornillos en acero inoxidable austenítico. Por lo tanto, se demostró que la calidad de los acabados y en los mecanizados aumenta cuando la dureza de los tornillos aumenta. (Forke & Landgrebe, 2019)

Científicos de la India investigaron la extracción de aceite de las semillas de *Jatropha*, teniendo en cuenta su humedad, temperatura, tiempo de cocción y tomando semillas crudas y cocidas. Los ensayos fueron realizados en una prensa de tornillo, resaltando las velocidades de prensado. Los resultados arrojaron que la mayor cantidad de aceite extraído se presentó en las semillas cocinadas a 110 ° C durante 10 minutos, con mayor porcentaje de humedad de 9,69%, a diferencia de las otras muestras que poseían menores porcentajes de humedad. Después se realizó la prueba de prensado en la prensa de tornillo, mostrando que las semillas cocidas entregaron mayor cantidad de aceite que las semillas sin cocinar, aunque la velocidad del prensado en las semillas cocinadas fue menor que la velocidad de las semillas sin cocer. Por último, se demostró que los niveles de aceite aumentan cuando los porcentajes de humedad aumentan, tanto para las semillas cocinadas como para las sin cocinar. (Pradhan, Mishra, Naik, Bhatnagar, & Vijay, 2011)

Profesionales de Países Bajos realizaron un artículo, donde abordaron la problemática que tienen las extrusoras de tornillo de mezclar materiales complejos, diferentes y de viscosidad variable, e incluso si son sólidos o líquidos. Los experimentos se realizaron en extrusoras de tornillo simple y tornillo doble, con diversidad de cereales y sustancias comestibles. Una de las sustancias empleadas en los experimentos fue el cristal de sacarosa, el cual demostró complejidad al momento de la extrusión por su viscosidad variada lo que generaba deslizamiento en el sistema que provocaba dificultades al realizar las pruebas. Otra sustancia probada fue el cereal del desayuno, el cual poseía buena característica viscosa deseada para la extrusión. (van Zuilichem,, Kuiper, Stolp,, & Jager, 1999)

Un estudiante de Túnez y de Francia. Realizaron un estudio para de identificar los componentes químicos de la fruta del cilantro (*Coriandrum sativum*), por medio del aceite vegetal de su fruto extraído de una máquina extrusora de tornillo simple de referencia Omega 20, en el cual se varió los diámetros de las boquillas de la extrusora los cuales fueron de 5 mm, 6mm, 7mm, 8 mm, 9 mm y 10 mm. Por último, se deseaba identificar los aceites esenciales del aceite vegetal obtenido de la máquina extrusora. Para concluir la investigación, se obtuvo mayor rendimiento de extracción de aceite vegetal con la boquilla con un diámetro de 8 mm, posteriormente se identificaron 29 componentes en el aceite esencial, dentro de los componentes se encontraron hidrocarburos y monoterpenos alcohólicos. (Sriti, y otros, 2012)

Estudiantes de la universidad de Kassel Alemania. En un artículo se desarrolló en utilizar una matriz polimérica a la poliamida 10.10 que posee un punto de fusión de 200°C, con una poliamida 10.10 de base biológica reforzada con fibra de celulosa corta artificial para inyectar por medio de una máquina extrusora de doble husillo con un diámetro de 18 mm. Las propiedades mecánicas de los biocompuestos se vieron muy poco afectadas a causa de la geometría del tornillo de la extrusora, en cambio, la masa del compuesto se ve disminuida gracias al tornillo extrusor. (Feldmann, Heim, & Zarges, 2016)

El artículo fue realizado por estudiantes de agroindustria de Indonesia y Francia, el cual consistió en experimentar la extracción de aceite de semillas de girasol, por medio de una extrusora de doble tornillo, su rendimiento y las condiciones de funcionamiento. Las condiciones variables para las extracciones de aceite fueron la temperatura, velocidades y posicionamiento de los tornillos de la extrusora. Al finalizar los experimentos, pudieron observar que el mayor rendimiento se presentó cuando los tornillos se invirtieron el sentido, además, de aumentar los espacios entre los dos tornillos y reducir la magnitud del paso. Posteriormente se presentó mayor rendimiento cuando se redujo la velocidad de giro del tornillo, la velocidad de alimentación de semillas en la tolva y la temperatura del barril de extrusión. Con estas condiciones de mayor rendimiento se presentó un 85% de aceite extraído, con buena calidad de residuos de las semillas (torta). Los parámetros para su mayor rendimiento se presentaron a una velocidad de 75 rpm, con una masa de 19 kg a temperatura de 120 °C. (Kartika, Pontalier, & Rigal, 2006)

5.3 MARCO LEGAL

RESOLUCIÓN 2154 DE 2012 *“por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los aceites y grasas de origen vegetal o animal que se procesen, envasen, almacenen, transporten, exporten, importen y/o comercialicen en el país, destinados para el consumo humano y se dictan otras disposiciones.”*

RESOLUCIÓN 683 DE 2012 *“por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.”*

NTC 217:2018 *“Esta norma describe los métodos de muestreo para grasas y aceites animales y vegetales, crudos o procesados, a los cuales de ahora en adelante se hará referencia como grasas, cualquiera sea su origen y sea su estado líquido o sólido. También describe el equipo utilizado para este proceso.”*

NTC 400:2016 *“establece los requisitos y los métodos de ensayos que deben cumplir las mezclas de aceites vegetales comestibles.”*

NTC 6345:2019 *“Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el aguacate Persea americana Mill, variedad Hass, destinado para el consumo en fresco o como materia prima para la agroindustria. La presente norma se aplica desde el momento previo a la cosecha del aguacate hasta su comercialización.”*

NTC 336:2016 *“especifica un método para determinar la densidad (masa por volumen convencional “peso de un litro en aire”) de las grasas y aceites animales y vegetales.”*

NTC 5083:2015 *“especifica el método de cromatografía de gases utilizando columnas capilares para determinar el contenido de los isómeros trans de los ácidos grasos de los aceites y grasas vegetales.”*

6 DISEÑO METODOLÓGICO

La figura 7 señala las metas para el desarrollo de los objetivos de la investigación, cada una debe cumplirse con el propósito de culminar la investigación satisfactoriamente.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO A TRES TORNILLOS EXTRUSORES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA SEMILLA DE AGUACATE TIPO LORENA.

- Analizar diferentes geometrías de un tornillo extrusor de la máquina opm500 para la mejora del rendimiento de extracción de zumo.

Analizar los parámetros que intervienen en el diseño de un tornillo extrusor, basándose en las geometrías variables del tornillo, que va a ser instalado en la máquina extractora de zumo OPM 500w

- Identificar los datos técnicos de la máquina extrusora, tales como: potencia y diseño geométrico del tornillo.
- Analizar modelos de tornillos para identificar los tipos de geometría del tornillo extrusor.
- Hacer una prueba piloto sobre el rendimiento de la máquina, para saber cuánto zumo extrae en una muestra de 100 gr de semilla de aguacate.

Diseñar configuraciones geométricas de tornillos extrusores, para ayudar al rendimiento de extracción de la máquina OPM 500w, para las semillas de aguacate.

- Identificar los parámetros de la geometría del tornillo.
- Definir las magnitudes de los parámetros como, el paso, ángulo de inclinación, ancho de canal y ancho de diente de los tornillos.

Realizar prototipo en material Nylon para determinar qué mecanizado es conveniente para los diseños propuestos.

- Realizar modelado por software CAD.
- Realizar los planos de diseño para la construcción de los tornillos extrusores.
- Acudir a un técnico especializado en mecanizados para obtener una recomendación y así determinar que mecanizado emplear.

Fabricar tres (3) tornillos helicoidales en acero 12L14 para la máquina extrusora OPM 500w.

- Utilizar los planos realizados y recomendaciones técnicas para ser utilizados en la fabricación de los tornillos.

Medir y comparar el rendimiento de obtención del extracto de la semilla de aguacate, para los cuatro tornillos con las configuraciones planteadas de la máquina extrusora OPM 500W.

- Realizar los experimentos para cada una de las configuraciones hechas de los tornillos extrusores.
- Hacer toma de datos de los experimentos
- Comparar los resultados obtenidos.
- Analizar que tornillo genera el mejor rendimiento de extracción.

7. *Diseño metodológico, realizado por el autor*

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

La investigación documental es una técnica de investigación cualitativa que se encarga de recopilar y seleccionar información a través de la lectura de documentos, libros, revistas, grabaciones, filmaciones, periódicos, bibliografías, etc. Entre las características más importantes de la investigación documental se encuentran las siguientes. La recolección y uso de documentos existentes para analizar los datos y ofrecer resultados lógicos. Recolecta los datos con un orden lógico, lo que permite encontrar hechos que sucedieron tiempo atrás, encontrar fuentes de investigación y elaborar instrumentos de investigación, etc. Utiliza múltiples procesos como análisis, síntesis y deducción de documentos. Se realiza de forma ordenada, con una lista de objetivos específicos con el fin de construir nuevos conocimientos. (Questionpro, 2019)

La investigación documental se requiere para adquirir información básica sobre la máquina OPM 500w, como lo son las especificaciones técnicas del fabricante de la máquina extrusora y demás información proporcionada por el fabricante. Esta información de antemano brinda asistencia para realizar las pruebas experimentales en las condiciones idóneas para la máquina OPM 500w.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales. (Murillo, 2019)

La investigación experimental se presenta en los ensayos experimentales en la máquina OPM 500w al momento de extracción de aceite de las semillas aguacate, variando el diseño del tornillo de la extrusora.

INVESTIGACIÓN ANALÍTICA

El Método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndose en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia. Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías. (Ruiz Limón, 2019)

La investigación analítica se utiliza al momento de analizar los resultados obtenidos de la fase experimental de la investigación. Los resultados requieren análisis profundos para una mejor comparación entre los resultados y los objetivos planteados.

6.2 FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

FUENTES PRIMARIAS

Se tuvo como fuente primaria las bases de datos por suscripción, donde se extrajo toda la información, con la cual se iba a contextualizar la investigación. Para este efecto se recolectó datos de informes de investigación alojados en ScienCedirect.

FUENTES SECUNDARIAS

Dentro de las fuentes secundarias se encuentran tesis y trabajos de grado universitarios, estos documentos se encargaron de orientar el rumbo de la investigación con ayuda de investigaciones anteriores. Otro tipo de fuente secundaria son los libros, los cuales aportaron información conceptual requerida para argumentar el desarrollo de la investigación.

6.3 PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE AGUACATE

En el proceso de pre-extracción se realizó la siguiente metodología:

- 1- Se seleccionaron cuatro semillas de aguacate.
- 2- Se retira la capa de piel o cáscara protectora.
- 3- Se introduce en una máquina de corte, donde sale barras de 10mm X 10mm.
- 4- Luego con ayuda de un cuchillo se cortan las barras, tratando de dejar trozos de semilla en forma cúbica de aproximadamente 10mm.
- 5- Se empaacan al vacío para su posterior transporte.

En el proceso de extracción se realizó la siguiente metodología:

- 1- Se extraen los trozos de semillas cúbicos del empaque al vacío.
- 2- Se hacen muestras de 100 gr, empleado una gramera digital de alta precisión.
- 3- Se ensambla la extractora.
- 4- Se ingresa la muestra de la semilla a la extrusora.
- 5- Se retira el producto obtenido.
- 6- Se mide el volumen del producto obtenido.

6.4 RECURSOS

SOFTWARE, EQUIPO TÉCNICO Y MAQUINARIA

Tabla 1. Software, equipo técnico y maquinaria, realizado por el autor

Rubro	Justificación	Valor c/u	Valor tiempo de uso	VALOR TOTAL	
				Universidad	Investigado
Base de datos (SCIENCEDIRECT)	Acceso a referencias bibliograficas	\$ 2.500.000	\$ 60.976	\$ 60.976	
Microsoft office	Sistemastización de información	\$ 149.900	\$ 18.738	\$ 18.738	
Gramera	Pesar sustancia extraida de semillas	\$ 67.000	\$ 8.375	\$ 8.375	
Computadores de escritorio	Manejo de información digital	\$ 1.569.000	\$ 31.380	\$ 31.380	
Centrífuga dinámica	Sepación de sustancias	\$ 1.700.000	\$ 85.000	\$ 85.000	
Extractora de aceite OPM 500w	Extracción mecánica	\$ 1.850.000	\$ 123.333	\$ 123.333	
Torno CNC	Mecanizado de tornillos	\$ 30.273.350	\$ 196.580	\$ 196.580	
Solidworks	Modelado de tornillo	\$ 30.915.469	\$ 77.289	\$ 77.289	
TOTAL				\$ 601.670	

OTROS GASTOS DIVERSOS

Tabla 2. Otros gastos diversos, realizado por el autor

Rubro	Descripción	Cantidad	Valor c/u	VALOR TOTAL	
				Universidad	Investigador
Papelería y fotocopias	Documentos físicos	200	\$ 100		\$ 20.000
Cilindro de nylon	Material de prototipo	1	\$ 8.000		\$ 8.000
Cilindros de acero 12L14	Material de tornillos	3	\$ 15.000		\$ 45.000
Transporte	Transporte a la universidad	30	\$ 2.400		\$ 72.000
TOTAL					\$ 145.000

VALOR TOTAL

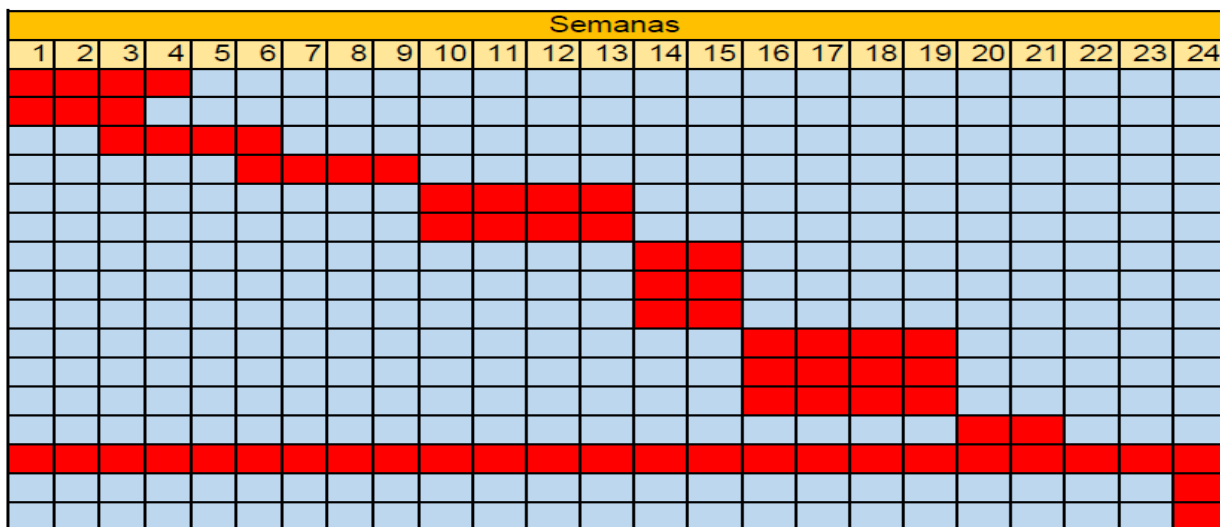
Tabla 3. Valor total de recursos, realizado por el autor

Gastos	Valor
Software y equipo tecnológico	\$ 601.670
Gastos diversos	\$ 145.000
TOTAL	\$ 746.670

6.5 CRONOGRAMA

Tabla 4. Cronograma, realizado por el autor

Actividad	Semana	
	Inicio	Fin
Revisión bibliográfica métodos de extracción de aceite	1	4
Identificar los datos técnicos de la máquina extrusora, tales como: potencia y diseño geométrico del tornillo.	1	3
Analizar el modelo Tadmor para identificar los tipos de geometría del tornillo extrusor.	3	6
Hacer una prueba piloto sobre el rendimiento de la máquina.	6	9
Identificar los parámetros de la geometría del tornillo.	10	13
Definir las magnitudes del paso, ángulo de inclinación, ancho de canal y ancho de diente de los tornillos.	10	13
Realizar los planos diseño para la construcción de los tornillos extrusores.	14	15
Realizar modelado por software CAD y convertirlo a programación CNC	14	15
Realizar los experimentos de extracción por el método Soxhlet.	14	15
Realizar los experimentos para cada una de las configuraciones hechas de los tornillos extrusores.	16	19
Hacer toma de datos de los experimentos.	16	19
Comparar los resultados obtenidos.	16	19
Analizar que tornillo genera el mejor rendimiento de extracción.	20	21
Elaboración del documento.	1	24
Correcciones al documento final	24	24
Entrega de documento final	24	24



7 RESULTADOS

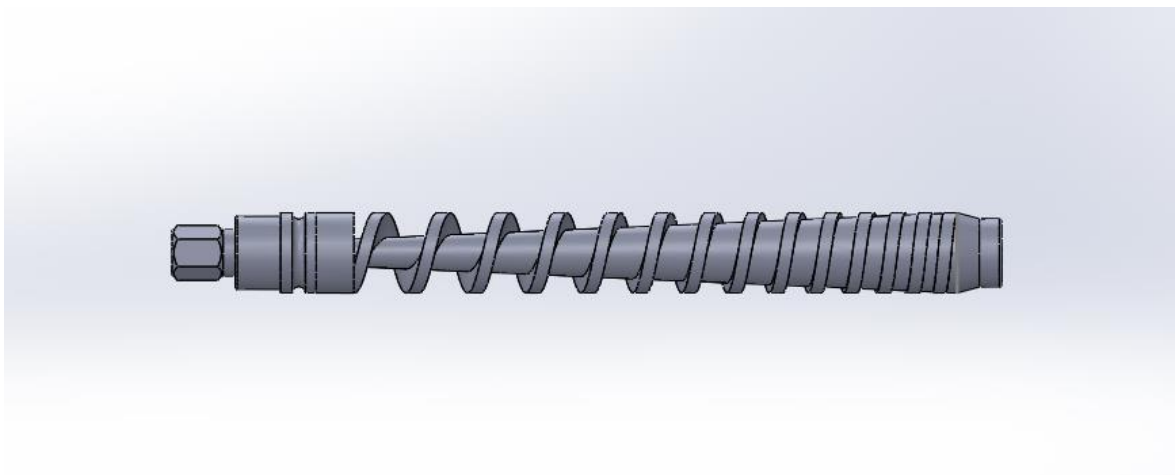
7.1 TEÓRICOS

Se plantearon seis (6) diseños iniciales, cuyos modelos y respectivos planos se efectuaron en el software Solidworks, de los cuales tres (3) modelos fueron descartados por inconvenientes para su mecanizado, ya que los talleres no poseen los componentes y herramientas como ejes adicionales en el torno horizontal y herramientas con dimensiones específicas. Los otros tres fueron aprobados para su fabricación en los talleres de mecanizado de la universidad ECCI.

Lo anterior debido a las limitantes que se tienen en el proyecto, donde ya se adquirió el material, el cual son tres barras circulares de acero 12L14, cuyas dimensiones son: 1 pulgada de diámetro por 30 cm de longitud, esto con el fin de buscar el cumplimiento de los objetivos y el aumento del rendimiento de extracción. Al diseñar los tornillos extrusores no se realizaron cálculos debido que el limitante dimensional del cilindro donde se encuentra el tornillo extrusor, en consecuencia los cálculos arrojaron dimensiones mayores a las limitantes, por lo cual solo se variaron dentro de lo permitido, además de observar cálculos en función de polímeros puesto que se tomaron como referencias máquinas extrusoras de polímeros.

A continuación, se describen los tornillos y las causas por las cuales no es posible su fabricación.

DISEÑO TORNILLO #1



8. Tornillo #1 en 3D, diseñado por el autor

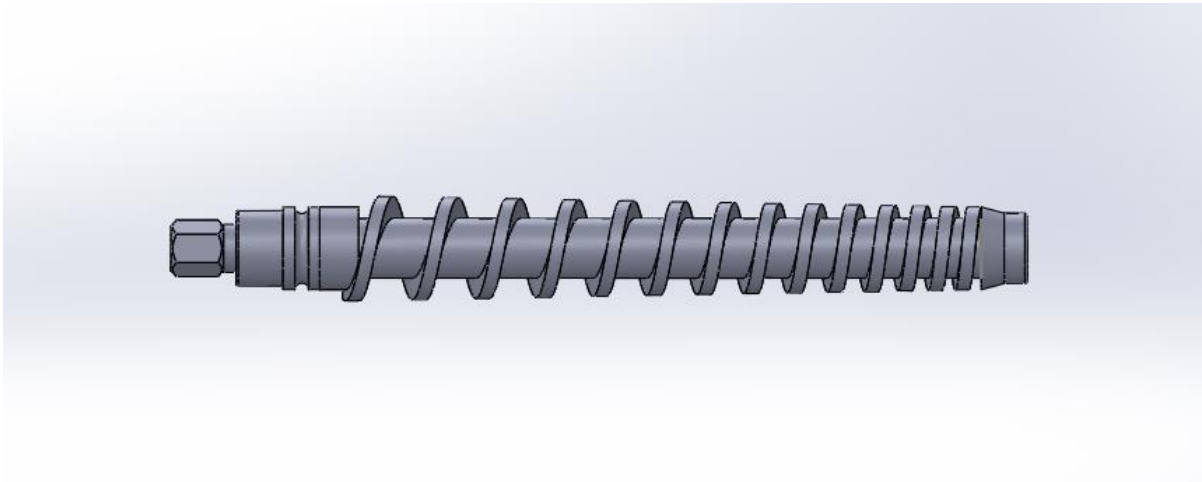
Tornillo cónico de paso y diámetro interno variables, donde aumenta su diámetro gradualmente y posee una rosca variable, donde según (Firdaus, y otros, 2017) al haber reducción de área genera un aumento de presión.

Este tornillo por poseer un paso variable es difícil de fabricar en el torno CNC, que posee la universidad porque implica un cambio de velocidad de la herramienta, lo cual no es posible porque dicho CNC trabaja a velocidad constante. Además, los buriles que requiere la máquina CNC son especiales y su fabricación es costosa.

En torno convencional la fabricación del tornillo #1 es posible, pero al ser muy complejo la geometría no quedará con la forma deseada, donde se presentan problemas en el paso variable.

Por los motivos anteriores, donde se dificulta en gran medida la fabricación del tornillo se opta por descartar la fabricación del diseño #1. Los planos al detalle del diseño del tornillo #1 se encuentran alojados en el ANEXO de este documento.

DISEÑO DE TORNILLO #2

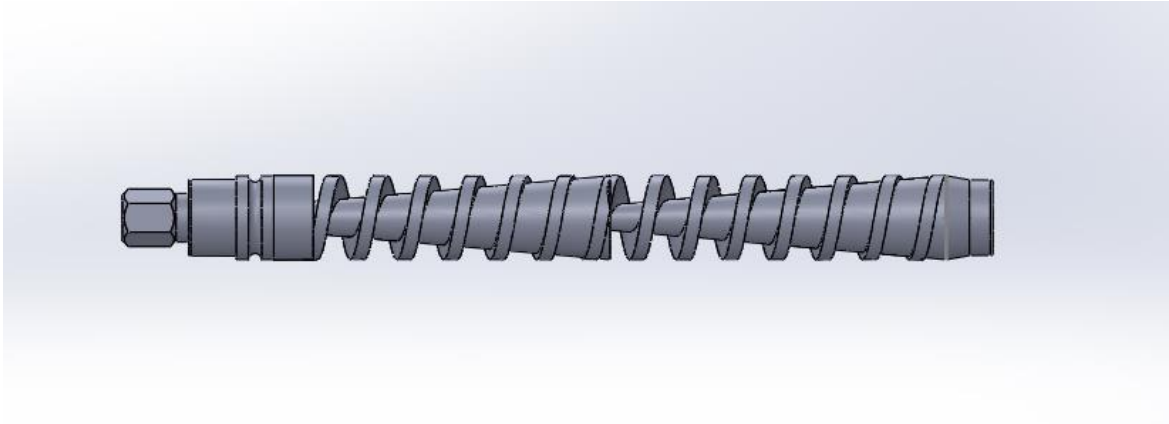


9. Tornillo #2 en 3D, diseñado por el autor

Tornillo cilíndrico con paso variable y diámetro interno constante, este tornillo brinda una mayor presión a lo largo de su recorrido, debido a la reducción de área que genera el paso variable (Firdaus, y otros, 2017), debido a que posee paso variable no es posible realizar su fabricación en torno CNC, por los mismos motivos que afectan al diseño del tornillo #1 anteriormente descrito.

Es posible su fabricación en torno convencional, pero con la limitante de que el paso variable no saldrá de forma ideal. Ya que dicha operación implica cambio de buriles y por ende el paso de la rosca saldrá defectuoso. Los planos de este diseño se pueden ver en el ANEXO.

DISEÑO DE TORNILLO #3



10. Tornillo #3 en 3D, diseñado por el autor

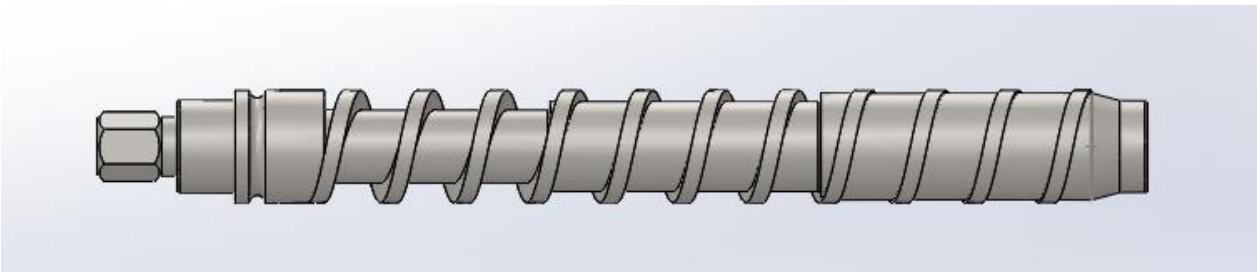
Tornillo con paso constante y doble sección cónica. Este tornillo al poseer doble reducción de área puede ofrecer un aumento de presión hacia el material. (Firdaus, y otros, 2017)

En torno convencional su fabricación es posible debido que al poseer un paso constante, no implica cambio de buril, además los buriles para este tipo de torno son muy económicos y de fácil acceso.

Estos 3 diseños se sometieron al análisis del técnico encargado CNC para ver la factibilidad de su fabricación en torno CNC es posible, sin embargo, no se posee el buril con paso de 10 milímetros, el torno CNC tiene un buril con paso de 3 milímetros, por motivos de fabricación del buril se descarta esta operación.

Por complejidad de los tres (3) diseños anteriores se decide descartarlos y analizar los otros tres diseños, los cuales son los siguientes. Los planos de este diseño se pueden ver en el ANEXO.

DISEÑO DE TORNILLO #4

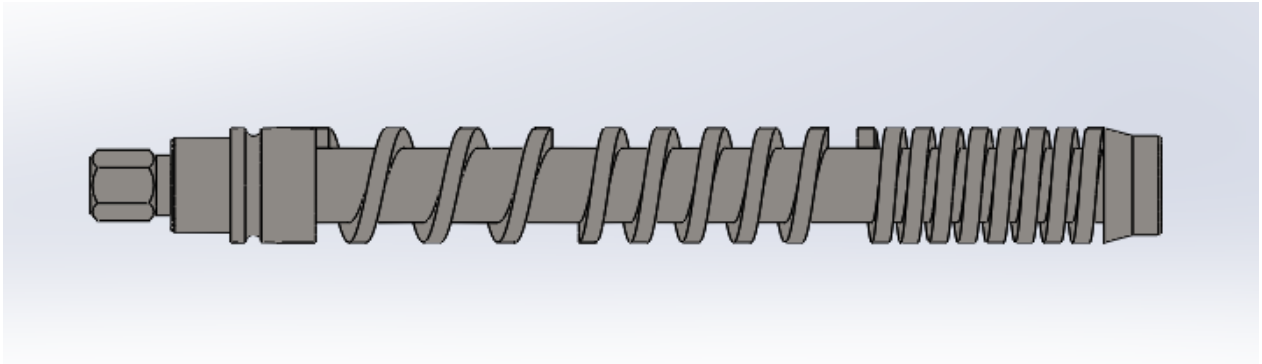


11. Tornillo #4 en 3D, diseñado por el autor

Tornillo con tres diámetros internos constantes y paso constante través de la prensa de tornillo el nivel de presión en las prensas hidráulicas aumentará linealmente (Firdaus, y otros, 2017)

Al ser el tornillo de presión constante se le añadió dos diámetros con el fin de aumentar la presión en cada diámetro, desde el mínimo diámetro al máximo diámetro. Los planos de este diseño se pueden ver en el ANEXO.

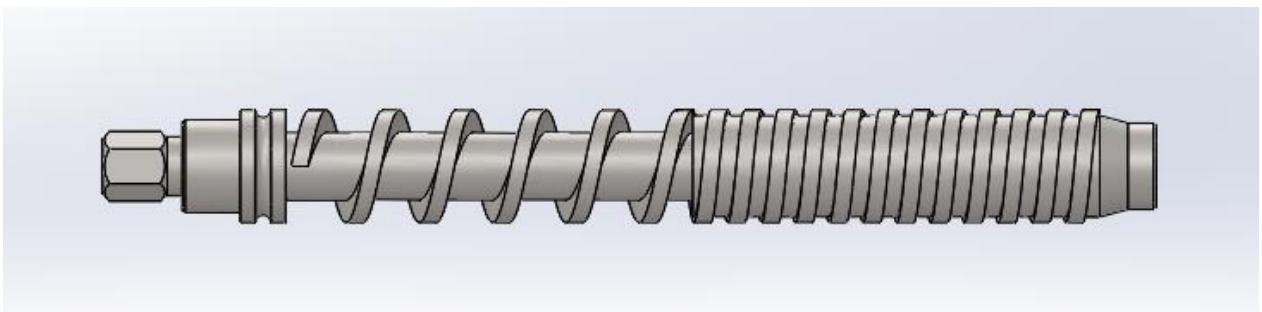
DISEÑO DE TORNILLO #5



12. Tornillo #5 en 3D, diseñado por el autor

Tornillo de diámetro constante y tres pasos constantes. Este diseño toma la referencia del tornillo #2 conservando la idea de aumento de presión con paso variable, a diferencia que el tornillo #5 no posee paso variable continuo por dificultad al momento de su fabricación, por ende, se optó por añadirle tres pasos diferentes ya que estos si son posibles de mecanizar. Los planos de este diseño se pueden ver en el ANEXO.

DISEÑO DE TORNILLO #6



13. Tornillo #6 en 3D, diseñado por el autor

Tornillo con dos diámetros y dos pasos constantes diferentes. Este diseño tiene dos etapas, la primera consta de paso ancho donde arrastra los trozos de semillas de

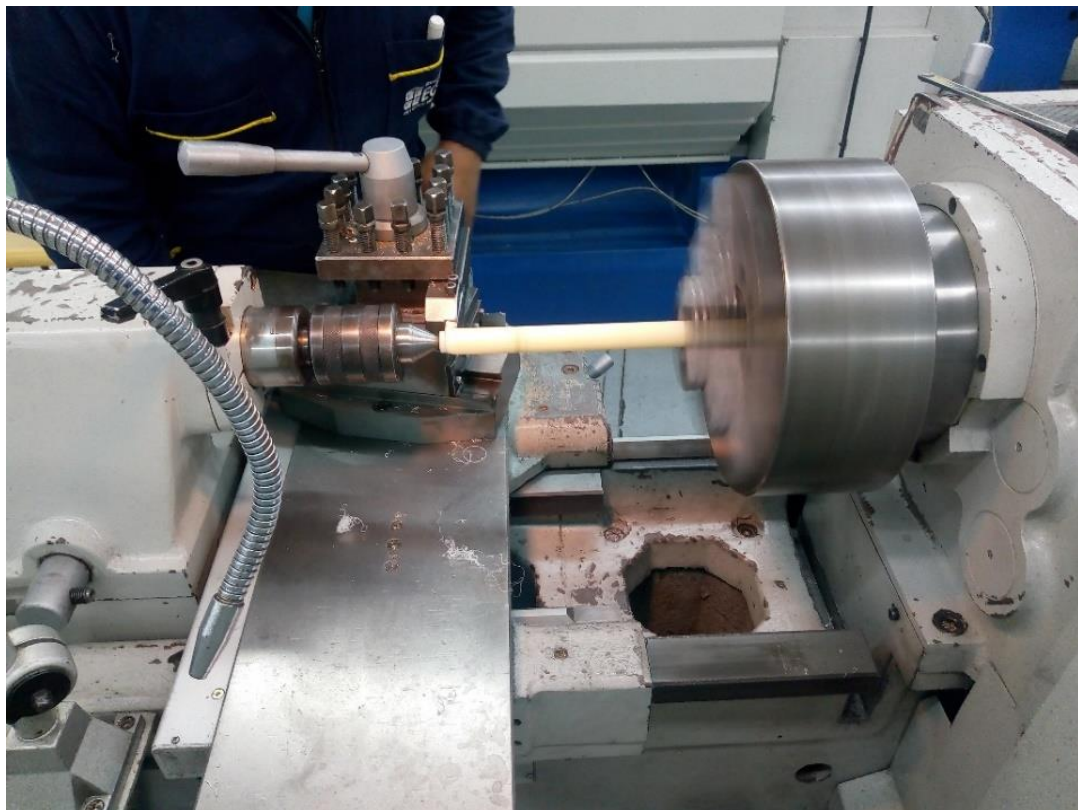
aguacate a la segunda etapa donde el paso se disminuye y el diámetro es mayor para aumentar la presión. Los planos de este diseño se pueden ver en el ANEXO.

7.2 MECANIZADOS

FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO EN NYLON

Se decidió elaborar un prototipo con el objetivo de un reconocimiento de los talleres de mecanizado y evitar futuros errores e inconvenientes con las piezas en acero 12L14. El prototipo se realizó con base a los planos del tornillo #4, usando como material de fabricación el nylon. El tornillo prototipo se fabricó en los talleres de mecanizado, sótano sede P de la Universidad ECCI.

En primera instancia se realizó el mecanizado del cilindro de 30 cm de longitud y 1 pulgada de diámetro en el torno paralelo universal, en el cual se realizó los cilindrados correspondientes y la rosca cuadrada, como se observa en la figura 14 y figura 15.

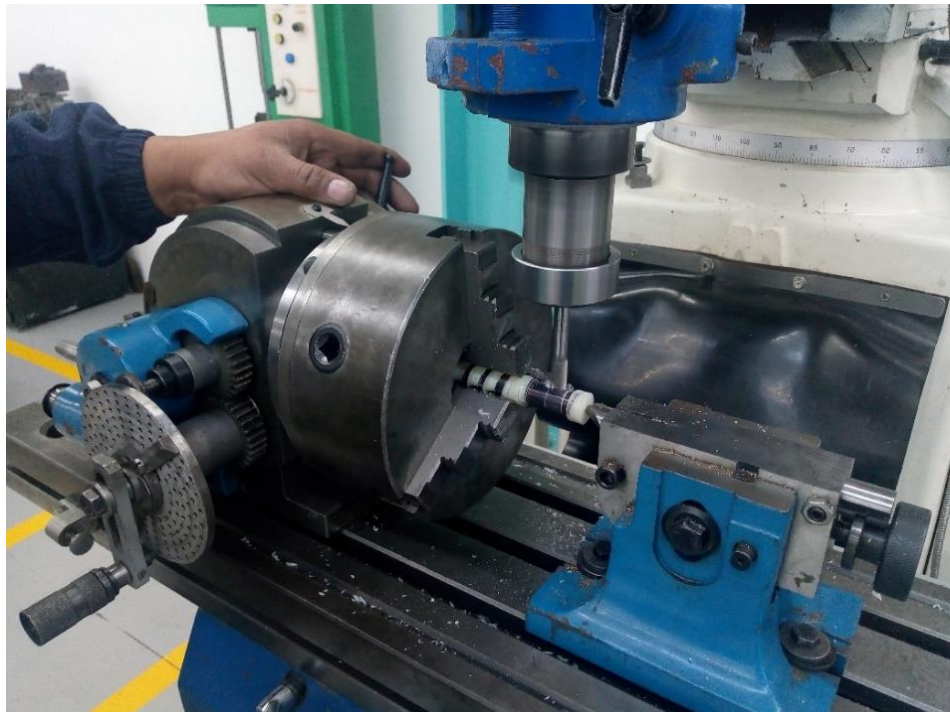


14. Mecanizado de pieza en nylon, en el torno #1, realizada por el autor



15. Mecanizado de pieza en nylon, en el torno #2, realizada por el autor

Después del mecanizado del tornillo se realizó la tuerca hexagonal del mango sujetador a la máquina extrusora en la fresadora como se observa en la figura 16.



16. Mecanizado de pieza en nylon, en la fresadora, realizada por el autor

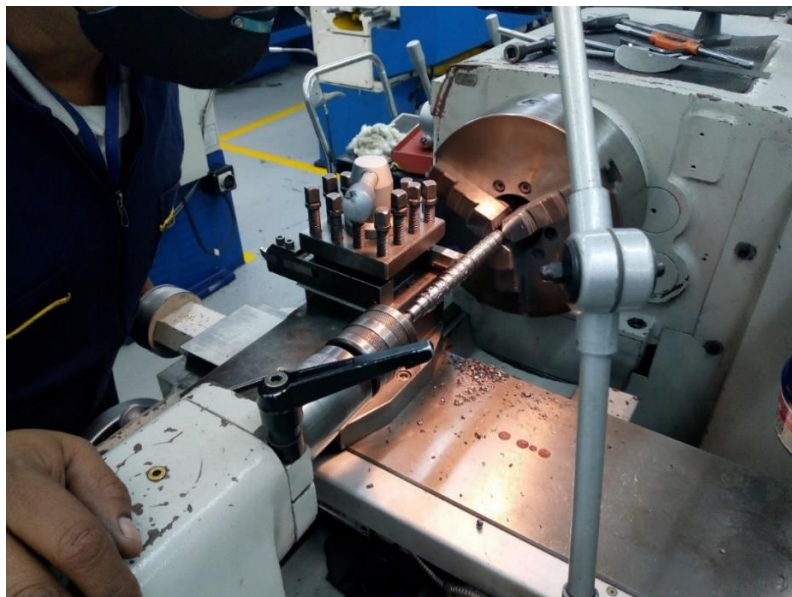
Al finalizar el mecanizado del prototipo se observó que las medidas de longitud y de la rosca no fueron las especificadas ya que se esperaba una longitud total de 188 mm y se obtuvo 280 mm por lo cual se consiguió una longitud mayor. Esta inexactitud de la medida del tornillo proporcionó conocimiento e ideas con respecto a no cometer los mismos errores al momento de fabricar los tornillos finales en acero 12L14, además de contar con certeza el proceso de fabricación por parte del investigador y de los técnicos encargados de los talleres. El prototipo se puede ver en la figura 17.



17. Prototipo finalizado, realizada por el autor

FABRICACIÓN DE LOS TORNILLOS EN ACERO 12L14

Ya terminada la pieza prototipo en nylon, se prosigue a fabricar los tornillos extrusores en acero 12L14, se mecanizan las piezas cilíndricas de 30 cm de longitud y 1 pulgada de diámetro, por medio del torno universal paralelo y fresadora, como se observa en la figura 18.



18. Mecanizado de pieza en acero 12L14, en torno, realizada por el autor

Se realizó la fabricación de los tornillos extrusores #4, #5 y #6 diseñados previamente teniendo en cuenta los errores y las observaciones adquiridas durante la fabricación del tornillo prototipo en nylon, realizando los mismos procesos de mecanizado en torno y fresadora. Se obtuvieron los tres tornillos extrusores en acero 12L14 observados en la figura 19, figura 20 y figura 21.



19. Tornillo en acero 12L14, diseño #4, realizada por el autor



20. Tornillo en acero 12L14, diseño #5, realizada por el autor



21. Tornillo en acero 12L14, diseño #6, realizada por el autor

7.3 PRUEBAS DE EXTRACCIÓN

Se efectuaron las pruebas de extracción de aceite en la máquina OPM500W, con los tornillos #4, #5 y #6 diseñados por el autor, cumpliendo con la metodología descrita en la sección “7.1” de procesamiento de semilla de aguacate.

Antes de las pruebas oficiales de extracción de aceite, se ejecutó una prueba de extracción de aceite con previa cocción durante 15 minutos a temperatura máxima de estufa casera, en la cual la máquina OPM500W no extrajo fluido alguno de las semillas, esto justifica la no pre-cocción de las semillas para su correspondiente extracción de aceite.

Primero se retiró la corteza de la semilla de aguacate, para su respectiva trituración, como se observa en las figuras 22, figura 23 y figura 24.



22. Semilla con corteza, realizada por el autor

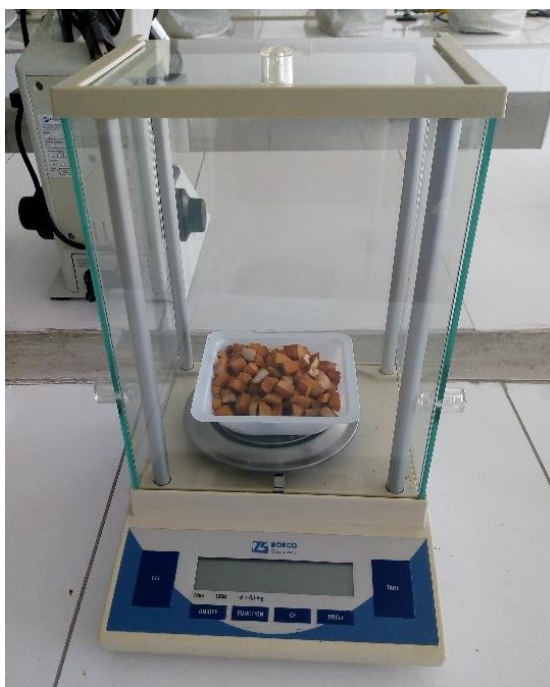


23. Semilla sin corteza, realizada por el autor



24. Semilla trituradas, realizada por el autor

Después se calculó la cantidad de muestras para cada prueba en una gramera, la cual fueron de 100 gr (gramos) para realizar tres (3) pruebas por cada tornillo, el original de la máquina extractora, el diseño #4, #5 y #6, como se observa en la figura 25.



25. Peso de muestras, realizada por el autor

Teniendo las muestras ya pesadas, se colocó cada uno de los cuatro (4) tornillos en la máquina y se dispuso a introducir las muestras en la tolva de la máquina extractora, como se observa en la figura 26 y figura 27.



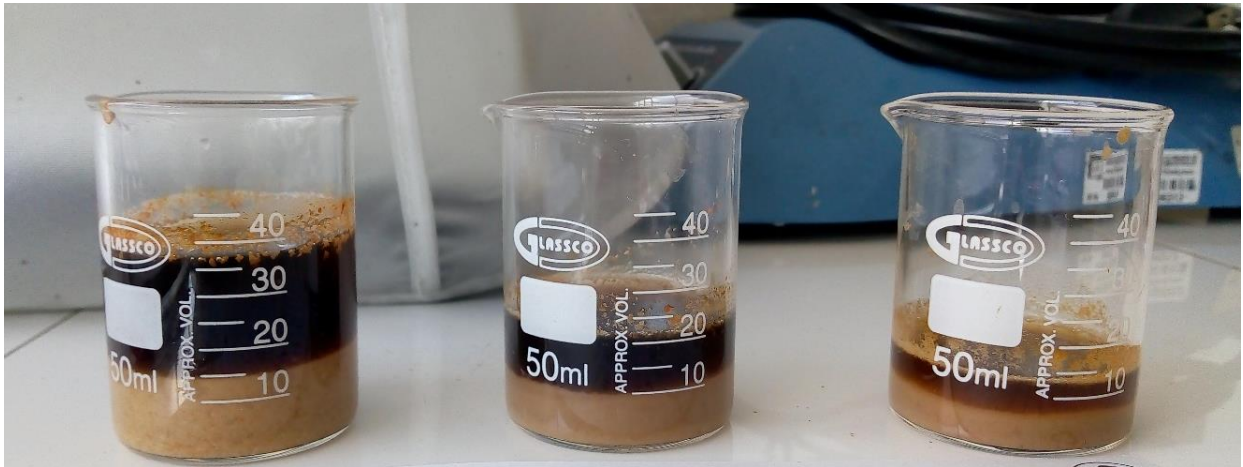
26. Muestras en tolva, realizada por el autor



27. Extractora OPM500W en funcionamiento, realizada por el autor

La máquina OPM500W posee una resistencia por encima de la camisa donde se introduce el tornillo extrusor, la cual aumenta la temperatura de la camisa gradualmente mientras se realiza la extracción de aceite. El inconveniente de este aumento de temperatura es la inhabilidad de controlarla, ya que no posee un control de temperatura por el cual se determine un valor deseado. Se pudo observar con un termómetro durante el inicio de la extracción de aceite, en la camisa de la máquina extractora presentó una temperatura 34°C y al final arrojó una temperatura de 50°C.

Al culminar las extracciones se observó que las primeras pruebas que se efectuaron con la máquina a temperatura ambiente hasta un aumento de 34°C, presentó un mayor número de volumen de fluido y material particulado, con respecto a las pruebas siguientes que presentaban una temperatura alrededor de 50°C y mostraron menor fluido y más material particulado, lo que indica que a mayor temperatura menor extracción de fluido y mayor material particulado espeso, lo anterior descrito se presentó en las pruebas de todos los cuatro tornillos como se observa en la figura 28, donde se ven los resultados de aceite del diseño #6 de izquierda a derecha T1, T2 y T3.

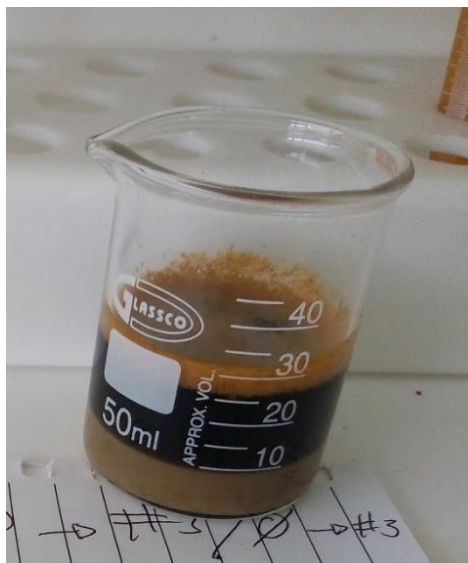


28. Muestras de extracción con el tornillo diseñado #6, realizada por el autor

Se observó en las muestras realizadas con los tornillos diseñados por el autor, que los extractos se adquirió un tono oscuro (negro o café) en comparación de las muestras obtenidas con el tornillo original de la máquina extractora el cual se adquirió una tonalidad clara (naranja). Esto pudo deberse a que el material del tornillos original es de acero inoxidable mientras que el material de los tornillos diseñados son en acero 12L14, por ende, al transcurrir las pruebas el tornillo se oxida y las muestras adquirirían estas tonalidades, como se puede observar en las figuras 30 y figura 31.



29. Muestra de extracción del tornillo original, realizada por el autor



30. Muestra de extracción del tornillo diseñado #5, realizada por el autor

T1 representa la temperatura de la máquina extractora al momento de conectarse e iniciar su funcionamiento, su valor es aproximado de $\leq 34^{\circ}\text{C}$ (temperatura baja), T2 representa una temperatura media entre el intervalo de la temperatura inicial y la temperatura máxima de la máquina extractora, su valor es aproximado entre 34°C y 50°C (temperatura media), T3 representa la temperatura máxima de la máquina extractora, su valor es aproximado de $\geq 50^{\circ}\text{C}$ (temperatura alta).

- T1 = $\leq 34^{\circ}\text{C}$
- T2 = $> 34^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$
- T3 = $\geq 50^{\circ}\text{C}$

Después de ejecutar las pruebas con el tornillo original con éxito se realizaron dos pruebas de extracción con el tornillo diseño #4 sin obtener alguna extracción, ni de fluido y de material particulado, ya que se repitió una vez este resultado se evitó una tercera prueba. Se observó que la torta (residuo de extracción) se presentaba con abundante humedad, de modo que, este diseño no aumenta el rendimiento de extracción, por lo contrario no presenta algún resultado siendo el tornillo menos eficiente de las pruebas y el primero en descartarse para tornillo más eficiente.

Con el tornillo diseño #5 y el tornillo diseño #6 se elaboraron las tres pruebas respectivamente obteniendo resultados favorables. Se contempló que en las pruebas T3 de los tornillos original, diseño #5 y diseño #6 la torta o residuo contiene abundancia de humedad, por lo ende, para estas pruebas fueron más fructíferos a baja temperatura o mejor con inexistencia de la misma, para así, obtener mayor volumen de extracción y de este separar el zumo.

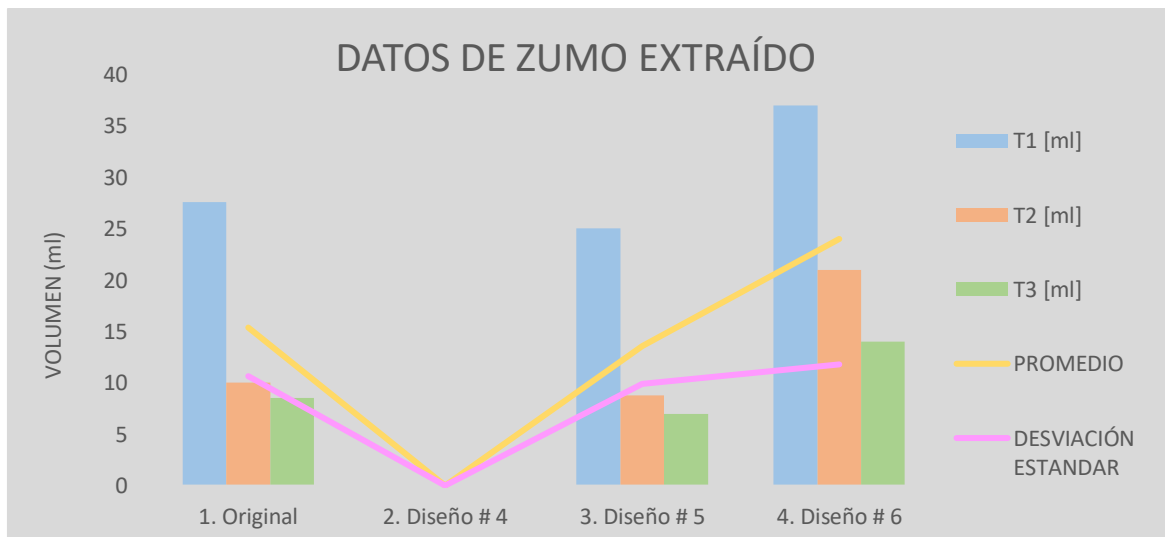
Los datos de volumen de zumo obtenidos en las pruebas de extracción de 100 gr de semillas de aguacate, se observan en la tabla 5.

Tabla 5. Datos de zumo extraído, realizados por el autor

DATOS DE ZUMO EXTRAÍDO						
TORNILLOS	T1 [ml]	T2 [ml]	T3 [ml]	TOTAL [ml]	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1. Original	27,6	10	8,5	46,1	15,37	10,62
2. Diseño # 4	0	0	-	0	0,00	0,00
3. Diseño # 5	25	8,8	7	40,8	13,60	9,91
4. Diseño # 6	37	21	14	72	24,00	11,79
TOTAL [ml]	89,6	39,8	29,5			

Además en la tabla 5, se puede observar el promedio y la desviación estándar, este último muestra que tan disperso están los valores con respecto al promedio ya que éstos en las pruebas T1, T2 y T3 no son semejantes, por lo cual arroja un valor alto. Claramente el promedio de zumo extraído para número del diseño #6 es superior al obtenido por el tornillo original y el diseño #4 y #5, de manera que se contempla una posible opción de mejor tornillo para extraer zumo.

En la figura 32 se observa los valores de la tabla 5 en una gráfica de barras para un mejor contraste.



31. Datos de zumo extraído, realizada por el autor

Luego de obtener los valores de extracción de zumo se realizó la separación en la centrífuga dinámica vista en la figura 32, obteniendo un fluido o líquido en la parte superior y material particulado en la parte inferior de cada recipiente de ensayo. El motivo del centrifugado es medir el volumen del fluido y material particulado ya que el fluido es el componente de prioridad para medir la eficiencia de extracción de la máquina OPM500W puesto que el fluido contiene aceite el cual se puede utilizar con fines provechosos ya

mencionados en este documento, mientras que el material particulado es un elemento de desperdicio.



32. Centrifuga dinámica, realizada por el autor

En la tabla 6 se ven los datos obtenidos por el centrifugado del zumo que separo el fluido y el material particulado.

Tabla 6. Resultados de centrifugado, realizado por el autor

RESULTADOS DE CENTRIFUGADO						
TORNILLOS	T1 [ml]		T2 [ml]		T3 [ml]	
	FLUIDO	M.P	FLUIDO	M.P	FLUIDO	M.P
1. Original	22,2	5,4	3,9	6,1	2,6	5,9
2. Diseño # 4	0	0	0	0	-	-
3. Diseño # 5	15	10	2,4	6,4	1,8	5,2
4. Diseño # 6	22	15	10,2	10,8	8,2	5,8

Los valores obtenidos del fluido por las muestras se utilizaron para calcular la eficiencia de extracción de la máquina OPM500W con respecto a los valores obtenidos por el tornillo original, con la siguiente fórmula.

$$A \rightarrow B$$

$$C \rightarrow X$$

$$X = \frac{C * B}{A}$$

Ecuación 4. Eficiencia, regla de tres simple directa

A = Valor de fluido obtenido por el tornillo original a T_n

B = 100%

C = Valor de fluido obtenido por el tornillo diseño #n a T_n

X = Eficiencia

Por ejemplo para calcular la eficiencia del diseño #5 a T1:

A = 22,2 ml

B = 100%

C = 15 ml

X = Eficiencia

$$Eficiencia = \frac{15 \text{ ml} * 100\%}{22,2 \text{ ml}} = 67,57\%$$

La tabla 7 demuestra la eficiencia de los tornillos de diseño en porcentajes con base al tornillo original utilizando los pasos anteriores.

Tabla 7. Eficiencias, realizado por el autor

EFICIENCIAS					
TORNILLOS	TOP DE EFICIENCIA	T1 [%] FLUIDO	T2 [%] FLUIDO	T3 [%] FLUIDO	PROMEDIO (FLUIDO) [%]
Diseño # 4	Puesto 3	0	0	-	0
Diseño # 5	Puesto 2	67,57	61,54	69,23	66,11
Diseño # 6	Puesto 1	99,10	261,54	315,38	225,34

Las cantidades de la tabla 7 indican los porcentajes de eficiencia para la extracción de fluido con base a lo obtenido por el tornillo original, los porcentajes de eficiencia del diseño #5 son del 67,57%, 67,57% y 69,23% respectivamente, lo que refleja que no iguala o supera el 100% de la cantidad de fluido obtenido con el tornillo original. Por otro lado los porcentajes de eficiencia del diseño #6 son 99,10%, 261,54% y 315,38% respectivamente, de modo que estos valores casi igualan y superan el 100% de lo obtenido por el tornillo original y superan los del diseño #5. Las eficiencias del diseño #6

se promediaron y arrojó un 225,34% en promedio de extracción de fluido lo que representa alrededor de 2,25 veces más de fluido en el aceite con respecto al tornillo original, lo que representa el primer puesto de eficiencia de los tornillos diseñados.

Por último se muestra una comparativa de las características geométricas de los tornillos diseñados y del original de la máquina extrusora en la tabla 8.

Tabla 8. Características geométricas de los tornillos, realizado por el autor

CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TORNILLOS				
TORNILLOS	DIAMETRO INTERNO	NÚMERO DE DIAMETROS	NÚMERO DE PASOS	PASO
1. Original	Cónico	Variable	1	Constante
2. Diseño # 4	Cilíndrico	3	1	Constante
3. Diseño # 5	Cilíndrico	1	3	Constante
4. Diseño # 6	Cilíndrico	2	2	Constante

8 CONCLUSIONES

- Los parámetros geométricos del tornillo extrusor si varían el volumen de extracción de aceite en la máquina extractora OPM 500w, como se observa en los resultados puede variar entre no extraer ningún fluido y aumentar sus niveles de extracción.
- El tornillo más eficiente es el diseño #6 con un promedio de 225,34% más de extracción con respecto al tornillo original, de manera que el diseño #6 es el tornillo más eficiente para la máquina extractora OPM 500w.
- Probablemente el aumento del diámetro interno y la reducción del paso del diseño #6 en la zona de extracción del tornillo, aumenta la compresión ya que se reduce el espacio entre el tornillo y las semillas, a diferencia del aumento gradual del diámetro y pasó que no materializa una compresión constante.
- Es posible que las extracciones de aceite de T3 obtienen menor volumen a comparación de T1 y T2 debido que a temperaturas altas se evapora el líquido o fluido y no se puede recoger las muestras.

9 RECOMENDACIONES

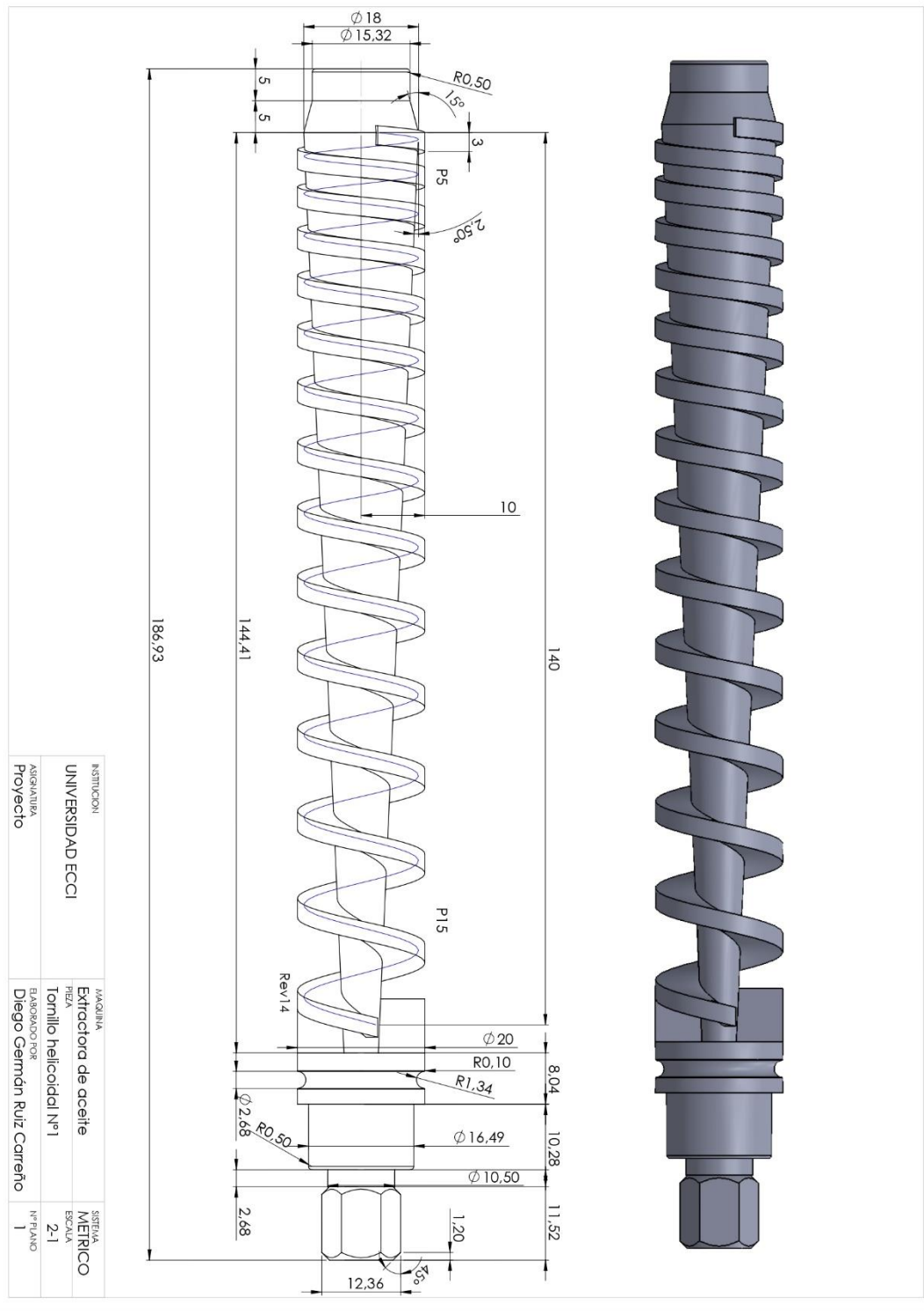
- Si se desea fabricar estos tornillos para utilizarlos definitivamente en la máquina extractora OPM 500w se aconseja elaborarlos en acero inoxidable con el fin de no contaminar las muestras de aceite con el posible óxido del metal y alargar la vida útil del tornillo
- Para reiterar los ensayos de extracción de aceite se sugiere realizar un número mayor de pruebas a las ejecutadas en este documento, reconociendo que no todas las semillas de aguacates se encuentran en el mismo estado y condiciones, además para obtener mayores valores de extracción y disminuir los rangos de error.
- Se aconseja para rehacer esta investigación incluir en consideración la velocidad angular del tornillo extrusor, el cual probablemente su variación afecte el volumen de extracción de aceite.

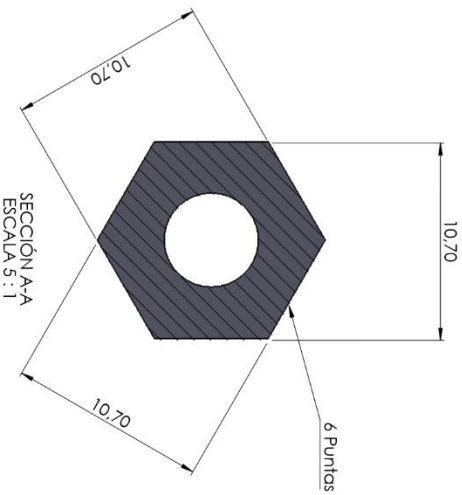
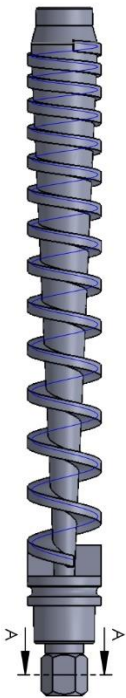
10 REFERENCIAS

- Akbari, S., Hamid Abdurahman, N., Mohd Yunus, R., Ruth Alara, O., & Olusegun Abayomi, O. (Agosto de 2019). Extraction, characterization and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella-Foenum Graecum*) seed oil. *Materials Science for Energy Technologies*, 2, 349-355.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.12.001>
- Amalia Kartika, I., P.Y. Pontalier, & Rigal, L. (Diciembre de 2006). Extraction of sunflower oil by twin screw extruder: Screw configuration and operating condition effects. *Bioresource Technology*, 97, 2302-2310.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.034>
- Barrientos, A., & López, L. (2014). Historia y genética del aguacate.
- Chouaibia, M., Rezig, L., Hamdi, S., & Ferrari, G. (Febreo de 2019). Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted. *Industrial Crops & Products*, 128, 363-370.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.030>
- El pequeño agroindustrial. (14 de Julio de 2014). *elpequenoagroindustrial*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de *elpequenoagroindustrial*:
<https://elpequenoagroindustrialelpequenoagroindustrial.blogspot.com/2014/07/extractacion-de-aceite-prensado.html>
- Española, R. A. (19 de Agosto de 2021). *Diccionario De La Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Feldmann, M., Heim, H.-P., & Zarges, J.-C. (2016). Influence of the process parameters on the mechanical properties of engineering biocomposites using a twin-screw extruder. *ELSEVIER*, 113-119.
- Firdaus, M., Salleh, S., Nawi, I., Ngali, Z., Siswanto, W., & Yusup, E. (2017). Preliminary Design on Screw Press Model of Palm Oil. *Colloquium of Advanced Mechanics (CAMS2016)*, 1-7. doi:10.1088/1757-899X/165/1/012029
- Forke, E., & Landgrebe, D. (2019). Profile cross rolling for the local hardness increase in helical components such as extruder screws. *ELSEVIER*, 39-44.
- GALARRAGA RIVERA, Y. O. (2015). *DISEÑO DE UNA PRENSA DE TORNILLO TIPO EXPELLER PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETAL VIRGEN DE LA SEMILLA DE MAÍZ, PARA USO COMESTIBLE*. Pereira.
- Gino Megale, P. (15 de Septiembre de 2019). *Università Di Pisa*. Obtenido de LABORATORIO NAZIONALE DELL'IRRIGAZIONE: <http://www.lni.unipi.it>
- Gutiérrez Suquillo, N. R., Saá Arévalo¹, I. A., & Vinuesa Lozada, A. F. (2017). Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío. *Enfoque UTE*, 15-32.
- Hu, B., Wang, H., He, L., Li, Y., Li, C., Zhang, Z., . . . Luo, Q. (Febrero de 2019). A method for extracting oil from cherry seed by ultrasonic-microwave assisted aqueous enzymatic process and evaluation of its quality. *Journal of Chromatography A*, 1587, 50-60.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.12.027>

- Kartika, I. A., Pontalier, P., & Rigal, L. (2006). Extraction of sunflower oil by twin screw extruder: Screw configuration and operating condition effects. *ELSEVIER*, 2302-2310.
- Murillo, J. (27 de Agosto de 2019). *Postgradoune*. Obtenido de <http://www.postgradoune.edu.pe>
- Pazinato Cuco, R., Bovo Massa, T., Postae, N., Cardozo-Filho, L., da Silva, C., & Julio Iwassa, I. (Octubre de 2019). Oil extraction from structured bed of pumpkin seeds and peel using compressed propane as solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 152. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104568>
- Ph. Evon, Amalia Kartik, I., & Rigal, L. (Mayo de 2013). Extraction of oil from jatropha seeds using a twin-screw extruder: Feasibility study. *Industrial Crops and Products*, 47, 33-42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.034>
- Pradhan, R. C., Mishra, S., Naik, S. N., Bhatnagar, N., & Vijay, V. K. (2011). Oil expression from Jatropha seeds using a screw press expeller. *ELSEVIER*, 158-166.
- Publicar Publicidad Multimedia S.A.S. (2020). *www.dimecol.co*. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de <https://www.dimecol.co/>: <https://www.dimecol.co/>
- Questionpro. (27 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-documental/>
- RAMOS, L. (2017). APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DE AGUACATE VARIEDAD LORENA COMO UN COLORANTE NATURAL Y DEL ACEITE DE MESOCARPIOS RESIDUALES DE LA VARIEDAD HASS COMO COMPONENTES FUNCIONALES EN UN JABÓN LÍQUIDO. (U. d. Manizales, Ed.) *Universidad de Manizales*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2019
- Ribeiro Grijó, D., Karen Piva, G., Vieitez Osorio, I., & Cardozo-Filho, L. (Enero de 2019). Hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil extraction with pressurized n-propane and supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 143, 268-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.09.004>
- Ruiz Limón, R. (27 de Agosto de 2019). *Eumed*. Obtenido de <http://www.eumed.net>
- S.A.S, F. (19 de Agosto de 2021). *Ferrocortes S.A.S Soluciones con el acero*. Obtenido de <https://www.ferrocortes.com.co/acero-12114/>
- Savgorodny, V. K. (1973). *Trasnmformación de Plasticos*. Barcelona: Gustavo Gili S. A.
- Sriti, J., Msaada, K., Talou, T., Faye, M., Amalia Kartika, I., & Marzouk, B. (Noviembre de 2012). Extraction of coriander oil by twin-screw extruder: Screw configuration and. *Industrial Crops and Products*, 40, 355-360. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.034>
- Tadmor, Z., & Gogos, C. G. (2006). *Principles of polymer processing*. New Jersey: Wiley Interscience.
- van Zuilichem,, D., Kuiper, E., Stolp,, W., & Jager, T. (1999). Mixing effects of constituting elements of mixing screws in single and twin screw extruders. *ELSEVIER*, 147-159.

11 ANEXOS



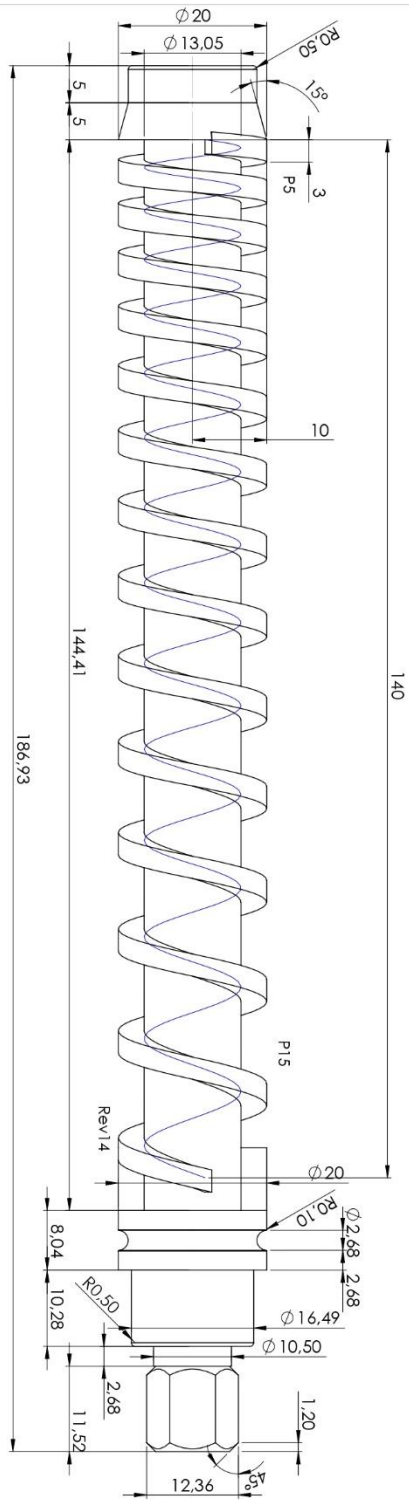


Nota: Orificio perteneciente al contrapunto durante el mecanizado

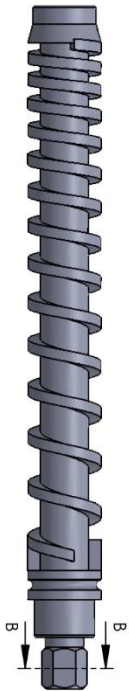
Parámetros

- *Paso variable
- Paso mínimo 5 mm
- Paso máximo 15 mm
- *Ángulo inicial 15°
- *Sentido inverso a las manecillas del reloj
- *Número de revoluciones 14 rev

INSTITUCION	MAQUINA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractora de aceite	METRICO
PIEZA	Tornillo helicoidal N°1	ESCALA
ASIGNATURA	ELABORADO POR	2-1
Proyecto	Diego Germán Ruiz Carreño	N° PLANO
		2

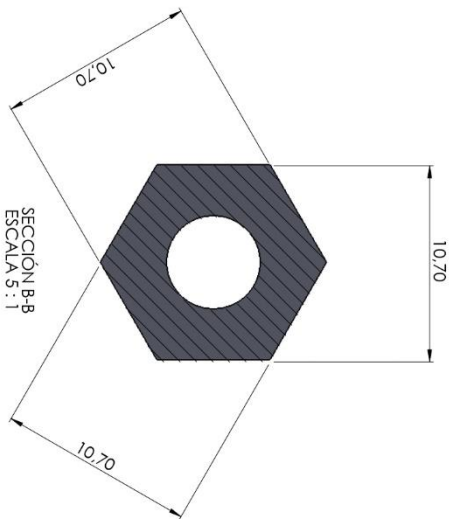


INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD ECCI	MAQUINA:	Extractora de aceite	SISTEMA:	METRICO
ASIGNATURA:		PIEZA:	Tomillo helicoidal N°2	ESCALA:	2-1
Proyecto:		ELABORADO POR:	Diego Germán Ruiz carreño	N° PLANO:	3



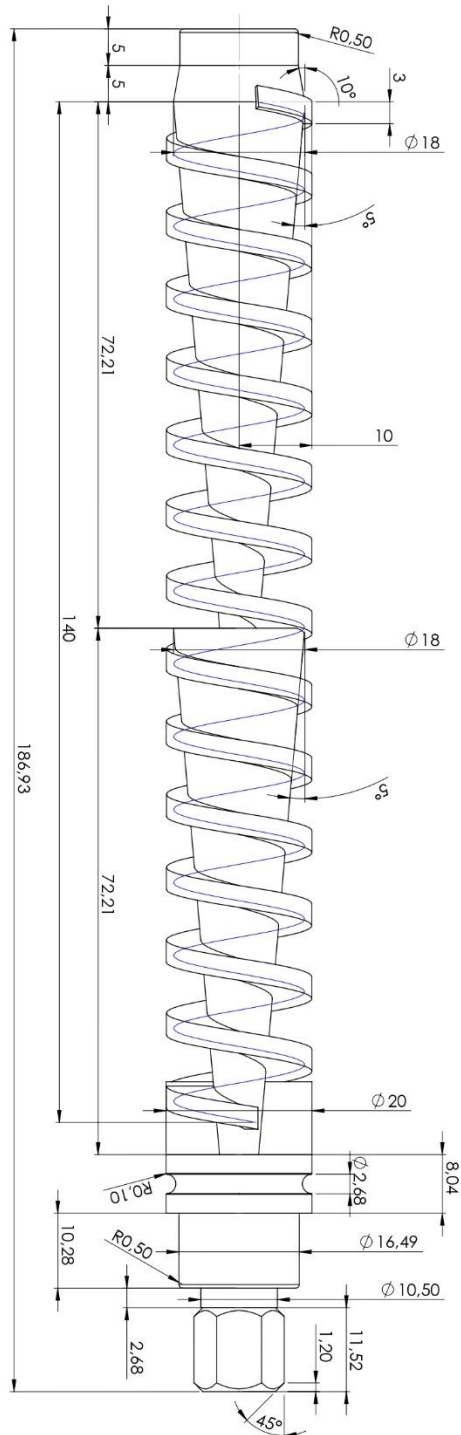
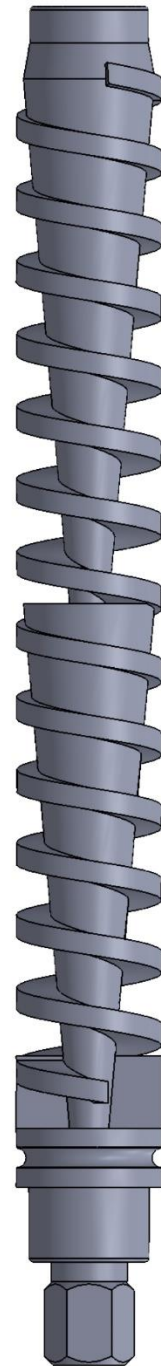
Parámetros

- *Paso variable
- Paso mínimo 5 mm
- Paso máximo 15 mm
- *Ángulo inicial 15°
- *Sentido inverso a las manecillas del reloj
- *Número de revoluciones 14 rev

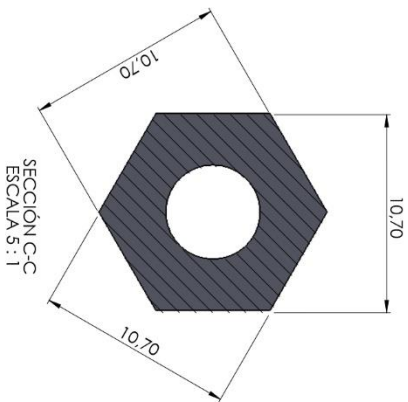
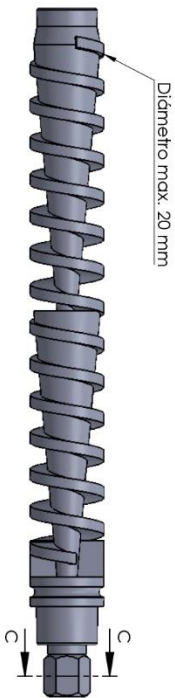


Nota: Orificio perteneciente al contrapunto durante el mecanizado

INSTITUCION	MAQUINARIA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractora de aceite	METRICO
ASIGNATURA	PIEA	ESCALA
Proyecto	Tornillo helicoidal N°2	2-1
	ELABORADO POR	N° PLANO
	Diego Germán Ruiz Carreño	4



INSTITUCION	MAQUINA	SERIE
UNIVERSIDAD ECCI	Extractor de aceite	METRICO
	BIEN	ESCALA
	Tornillo helicoidal N°3	2-1
ASIGNATURA	ELABORADO POR	N° PLANO
Proyecto	Diego Germán Ruiz Carreño	5

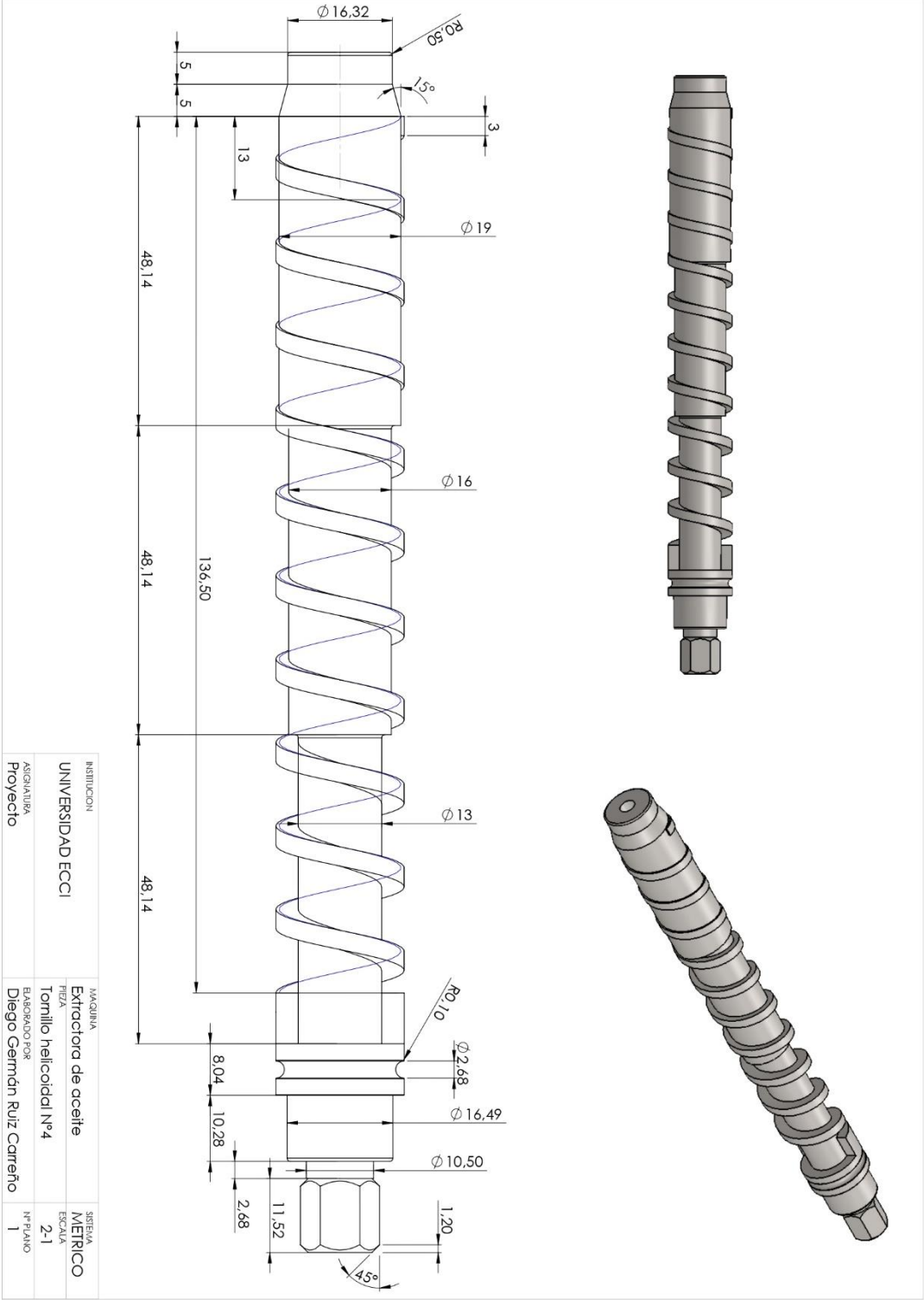


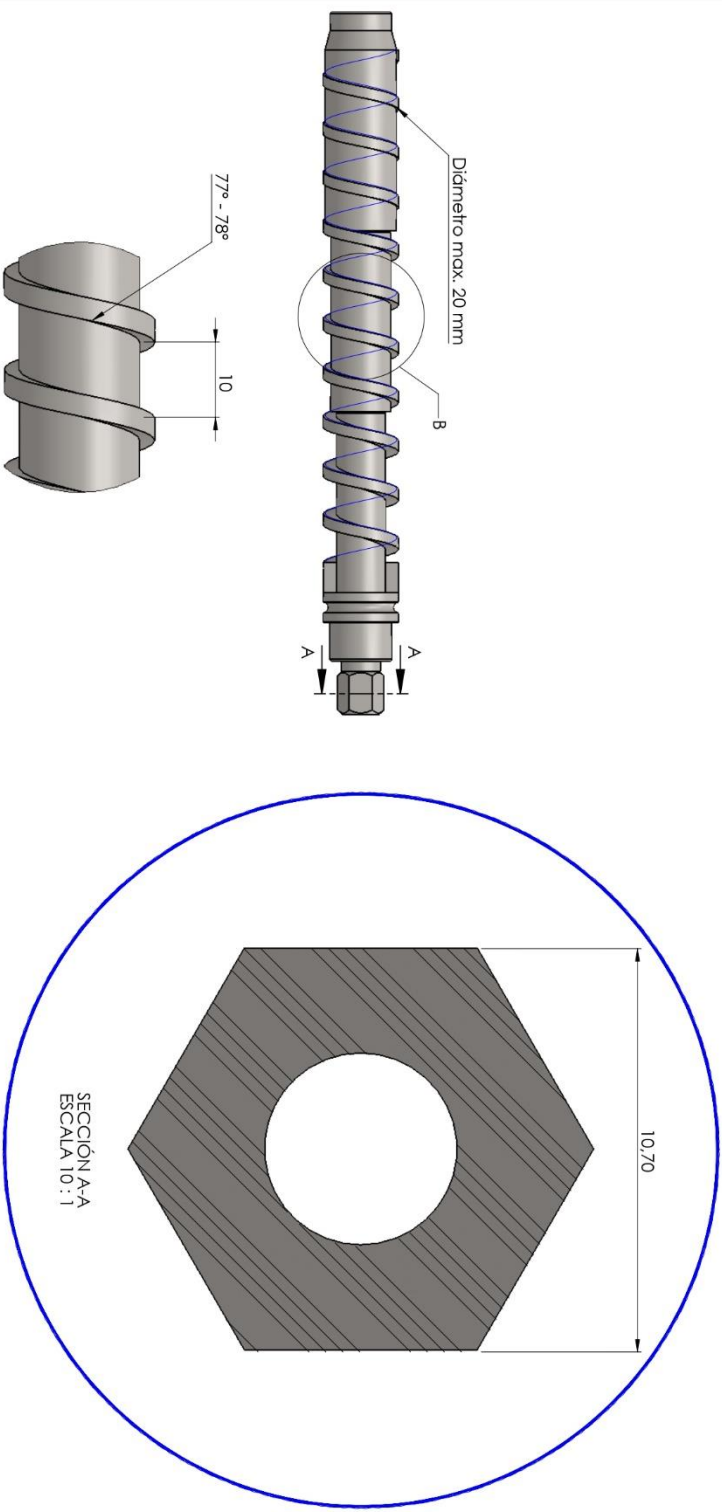
Nota: Orificio perteneciente al contrapunto durante el mecanizado

Parámetros

- *Paso constante = 10 mm
- *Sentido inverso a las manecillas del reloj
- *Numero de revoluciones 14 rev

INSTITUCION	MAQUINA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractor de aceite	METRICO
PIEZA	Tornillo helicoidal N°3	ESCALA
ASOCIATURA	ELABORADO POR	2-1
Proyecto	Diego Germán Ruiz Carreño	N° PLANO
		6



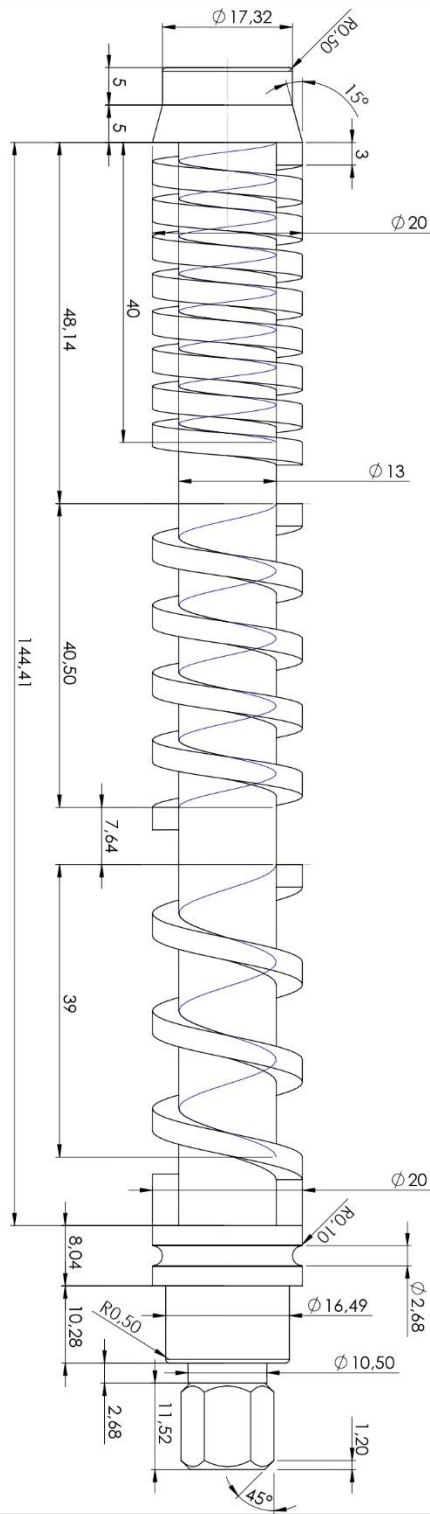
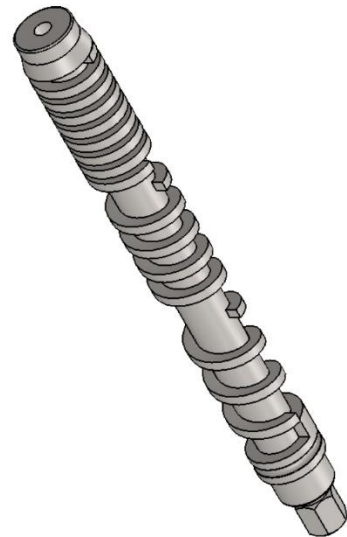
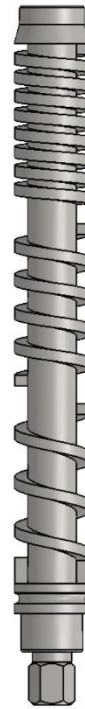


Nota: Orificio perteneciente al contrapunto durante el mecanizado

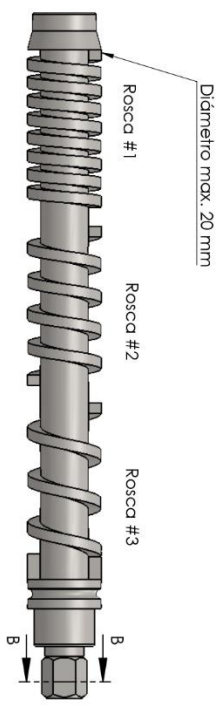
Parámetros

- * Paso constante = 13 mm
- * Sentido inverso a las manecillas del reloj
- * Numero de revoluciones = 10,5 rev
- * Ancho de filete = 3 mm
- * Ángulo de inclinación de filete (con respecto al eje) = 77° - 78°

INSTITUCION	MAQUINA	SERIE
UNIVERSIDAD ECCI	Extractora de aceite	METRICO
ASIGNATURA	PIEA	ESCALA
Proyecto	Elaborado por Diego Germán Ruiz Carreño	1-1
		Nº PLANO 2



INSTITUCION	MAQUINA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractora de aceite	METRICO
ABIGUALURA	PIEZA	ESCALA
Proyecto	Tornillo helicoidal N°5	2-1
	ELABORADO POR	N° PLANO
	Diego Germán Ruiz Carreño	3



Parámetros Rosca #1

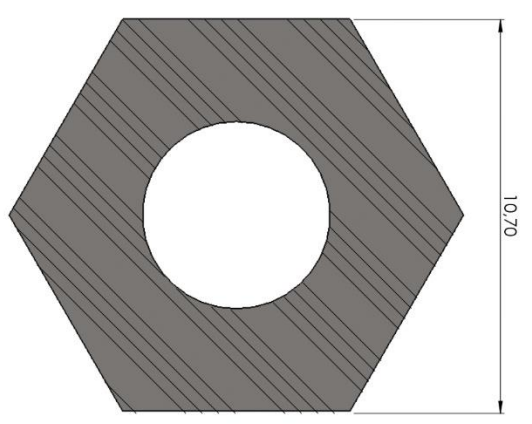
- *Paso constante = 5 mm
- *Sentido Inverso a las manecillas del reloj
- *Número de revoluciones = 8 rev

Parámetros Rosca #2

- *Paso constante = 9 mm
- *Sentido Inverso a las manecillas del reloj
- *Número de revoluciones = 4.5 rev

Parámetros Rosca #3

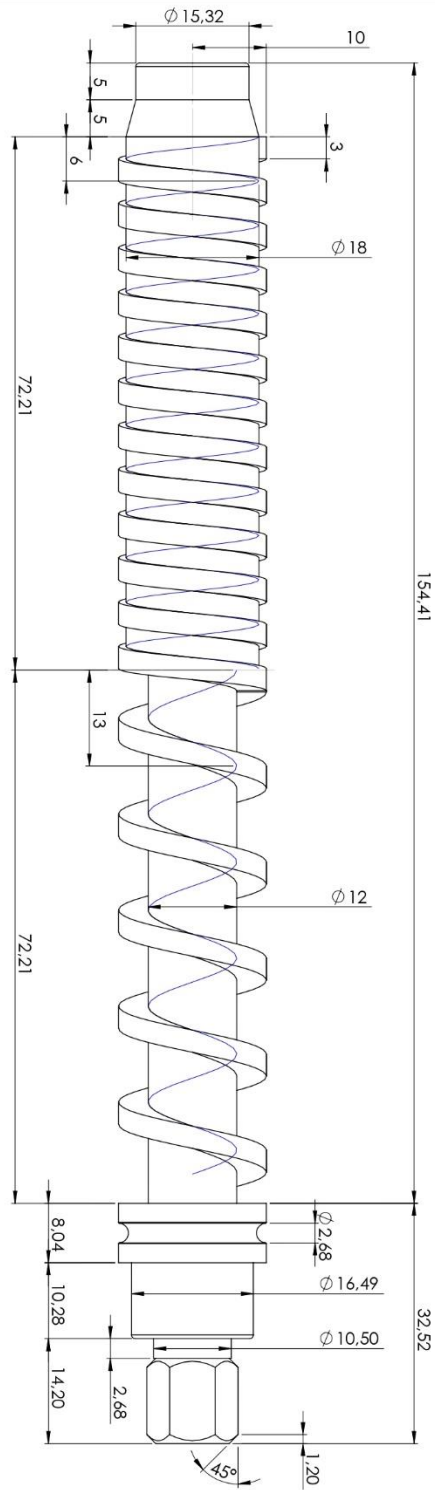
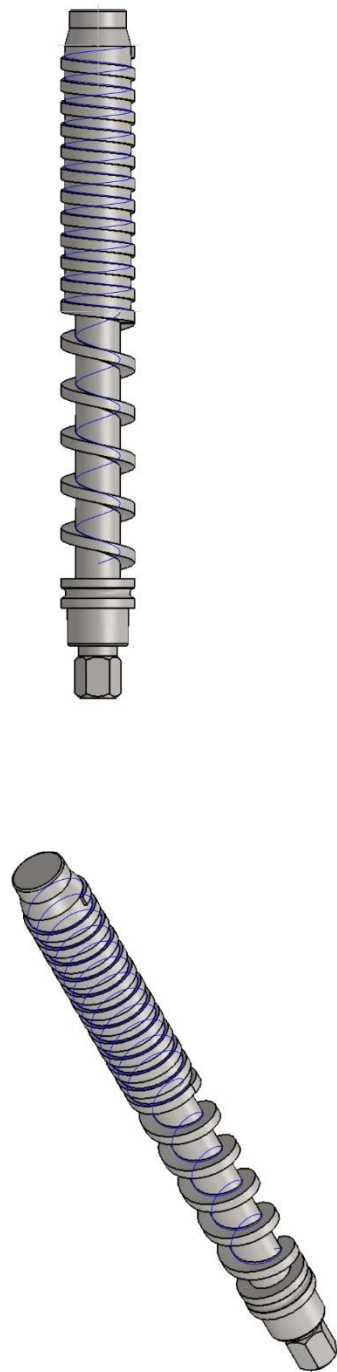
- *Paso constante = 13 mm
- *Sentido Inverso a las manecillas del reloj
- *Número de revoluciones = 3 rev



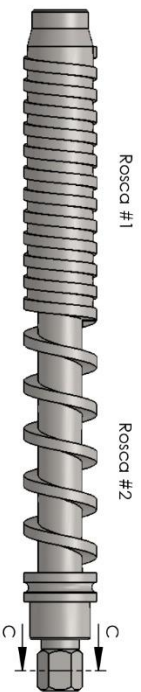
SECCIÓN B-B
ESCALA 10 : 1

Nota: Orificio perteneciente al contrapunto durante el mecanizado

INSTITUCION	MÁQUINA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractora de aceite	METRICO
	PIEZA	ESCALA
	Tornillo helicoidal Nº5	1-1
ASIGNATURA	ELABORADO POR	Nº PLANO
Proyecto	Diego Germán Ruiz Carreño	4



INSTITUCION	MAQUINA	SISTEMA
UNIVERSIDAD ECCI	Extractor de aceite	METRICO
PIEZA	Tornillo helicoidal N°6	ESCALA
ASCIATURA	Elaborado por	2-1
Proyecto	Diego Germán Ruiz Carreño	N° PLANO
		5

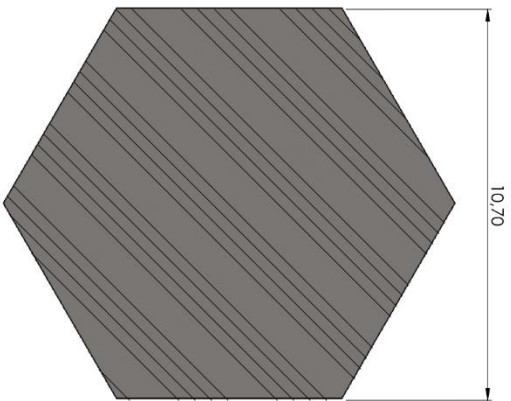


Parámetros Rosca #1

- *Paso constante = 6 mm
- *Sentido inverso a las manecillas del reloj
- *Numero de revoluciones = 12 rev

Parámetros Rosca #2

- *Paso constante = 13 mm
- *Sentido inverso a las manecillas del reloj
- *Numero de revoluciones = 5,25 rev



SECCIÓN C-C
ESCALA 10 : 1

INSTITUCIÓN		MÁQUINA		SISTEMA	
UNIVERSIDAD ECCI		Extractora de aceite		MÉTRICO	
		Pieza		Escala	
		Tornillo helicoidal N°6		1-1	
ASIGNATURA		ELABORADO POR		N° PLANO	
Proyecto		Diego Germán Ruiz Carreño		6	